

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta Stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Odvodňování stavebních jam a lomů

Dewatering of Construction and Mine Pits

Student:

Jakub Jančík

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Nad'a Rapantová, CSc.

Ostrava 2018

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Jančík**  
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3647R017 Geotechnika  
Téma: **Odvodňování stavebních jam a lomů**  
**Dewatering of Construction and Mine Pits**  
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Základní principy podzemní hydrauliky ve vztahu k odvodňování
3. Průzkumné práce pro návrh odvodňování
4. Projekt odvodňování, systémy odvodňování stavebních jam a lomů
5. Environmentální dopady odvodňování, vliv vody na stabilitu stěn výkopů
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Milíč, J., Endl, K. *Odvodňování dolů a lomů*. Skripta VŠB Ostrava, Hornicko-geologická fakulta. 1984, 97 s.
  2. Noskiewicz J. *Potrubí a čerpadla*. Vysoká škola báňská, Skripta PGS Hydrogeologie. 1984, 101 s.
  3. Grmela A. *Aplikovaná hydrogeologie. Odvodňování dolů, lomů a stavebních jam*. Sylabus přednášek. Vysoká škola báňská Ostrava. 1985.
  4. Cashman, P.M. and Preene, M. *Groundwater Lowering in Construction*. A Practical Guide to Dewatering. CRC Press 2013, 635 s.
- další dle rešeršní práce autora

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Nad'a Rapantová, CSc.**

Datum zadání: 31.10.2017

Datum odevzdání: 04.05.2018

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

## **Poděkování**

Děkuji vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Nadě Rapantové, CSc za odborné vedení, cenné rady, konzultace a čas, který mi věnovala při tvorbě této práce.

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tato bakalářská práce popisuje systémy odvodňování stavebních jam a systémy odvodňování lomu a jeho součástí. Odvodňování je nedílnou součástí před započítáním stavebního díla. Přítoku povrchové nebo podzemní vody do stavební jámy nebo lomu nelze zabránit, proto je nutno stavební jámy, lomy a jeho součásti odvodňovat. V praktické části je řešeno hydrogeologické posouzení výjezdového centra Třinec, stanovení přítoku vody do stavebního výkopu při propojování kanalizace v Ostravě Nová Bělá-Hrabová a odhad přítoku do stavební jámy při čištění odpadních vod v Slezské Ostravě-SALMA.

Klíčová slova: odvodňování, stavební jáma, lom, přítok vody

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

This bachelor thesis describes dewatering systems for construction and dewatering systems mine pits and its components. Dewatering is an integral part of the construction work. Surface or ground water inflow into the construction or mine pits can not be avoided, so drainage, mine pits and its components must be drained. The practical part deals with the hydrogeological assessment of the exit center Třinec, determination of the water inflow into the construction excavation during the connection of the sewerage in Ostrava Nová Bělá-Hrabová and estimate of the inflow into the construction pit during waste water treatment in Slezská Ostrava-SALMA.

Key words: dewatering, Construction, Mine Pits, water inflow

## Obsah

Seznam použitých zkratek a symbolů .....	10
1 Úvod.....	11
2 Základní principy podzemní hydrauliky ve vztahu k odvodňování.....	12
2.1 Základní veličiny v podzemní hydraulice a jejich jednotky.....	12
2.1.1 Koeficient filtrace .....	12
2.1.2 Koeficient propustnosti.....	13
2.2 Systematika filtračních toků a proudění vody.....	13
2.2.1 Ustálené proudění .....	13
2.2.2 Neustálené proudění .....	16
2.3 Metoda velké studny .....	17
3 Průzkumné práce pro návrh odvodnění .....	19
3.1 Hydrogeologické mapování .....	19
3.2 Práce odkryvné.....	19
3.2.1 Kopaná díla.....	19
3.2.2 Vrtné práce .....	20
3.3 Terénní zkoušky a měření .....	21
3.4 Odběr zkušebních vzorků a laboratorní práce.....	21
4 Projekt odvodňování, systémy odvodňování stavebních jam a lomů .....	22
4.1 Systémy odvodňování stavebních jam .....	23
4.1.1 Povrchové odvodňování .....	23
4.1.2 Hloubkové odvodňování čerpacími studnami .....	27
4.1.3 Hloubkové odvodňování čerpacími jehlami.....	28
4.1.4 Hloubkové odvodňování vakuovými čerpacími jehlami.....	30
4.1.5 Hloubkové odvodňování čerpacími jehlami na principu elektroosmózy .....	31
4.2 Systémy odvodňování lomů .....	32
4.2.1 Zabezpečení předpolí lomu přeložkami povrchových vodních toků.....	34

4.2.2	Zabezpečení předpolí lomu regulačními, retenčními a přečerpávacími nádržemi .....	34
4.2.3	Zabezpečení předpolí lomu odvodňovacími příkopy .....	34
4.2.4	Zabezpečení předpolí lomu ochrannými hrázemi a stěnami .....	35
4.2.5	Odvodnění skrývky.....	35
4.2.6	Odvodňování dna lomu .....	36
4.2.7	Odvodňování hlubších kolektorů v předpolí lomu systémem vertikálních vrtů. 36	
4.2.8	Odvodňování hlubších kolektorů v předpolí lomu systémem horizontálních báňských děl .....	37
4.2.9	Odvodňování hlubších kolektorů v předpolí lomu kombinovaným systémem vrtů a báňských děl.....	37
4.2.10	Ochrana výsypek před povrchovými vodami .....	38
4.2.11	Ochrana výsypek před podzemními vodami .....	38
5	Enviromentální dopady odvodňování, vliv vody na stabilitu stěn výkopů.....	40
5.1	Enviromentální dopady odvodňování .....	40
5.2	Vliv vody na stabilitu stěn výkopů.....	40
6	Příklady ve vztahu k odvodňování.....	42
6.1	Odhad přítoku do stavební jámy Slezská Ostrava-SALMA, čištění odpadních vod . 42	
6.1.1	Základní údaje .....	42
6.1.2	Průzkumné práce .....	42
6.1.3	Hydrogeologické vyhodnocení.....	43
6.1.4	Odhad přítoku vody do stavební jámy.....	44
6.2	Stanovení přítoku vody do stavebního výkopu Ostrava Nová Bělá-Hrabová, propojení kanalizace .....	44
6.2.1	Základní údaje .....	44
6.2.2	Průzkumné práce .....	45
6.2.3	Hydrogeologické vyhodnocení.....	45
6.2.4	Stanovení přítoku vody do stavebního výkopu .....	46
6.3	Posouzení hydrogeologické situace výjezdového centra Třinec .....	48
6.3.1	Základní údaje .....	48



6.3.2	Průzkumné práce .....	48
6.3.3	Hydrogeologické vyhodnocení.....	49
6.3.4	Návrh odvodnění .....	49
6.3.5	Posouzení hydrogeologické situace.....	51
7	Závěr .....	53
	Seznam obrázků.....	54
	Seznam použitých pramenů.....	55

## Seznam použitých zkratek a symbolů

### Písmena latinské abecedy

a	Koeficient tlakové vodivosti	[m <sup>2</sup> /s]
a'	Koeficient hladinové vodivosti	[m <sup>2</sup> /s]
b	Délka rýhy	[m]
c	Šířka výkopu	[m]
F	Plocha stavební jámy, lomu	[m <sup>2</sup> ]
H	Výška hladiny podzemní vody nad nepropustným podloží	[m]
h	Výška dynamické hladiny podzemní vody	[m]
K	Koeficient hydraulické vodivosti	[m/s]
k	Koeficient propustnosti	[m <sup>2</sup> ]
l	Délka stavební jámy	[m]
L	Dosah snížení hladiny podzemní vody	[m]
m	Mocnost kolektoru	[m]
n	Pórovitost	[%]
Q	Vydatnost přítoku	[m <sup>3</sup> /s]
R	Dosah snížení hladiny podzemní vody	[m]
r	Vzdálenost snížení hladiny podzemní vody	[m]
r <sub>0</sub>	Náhradní poloměr	[m]
r <sub>1</sub>	Vzdálenost pozorovacího objektu	[m]
S <sub>v</sub>	Koeficient volné zásobnosti	[-]
S <sub>p</sub>	Koeficient pružné zásobnosti	[-]
s	Snížení hladiny	[m]
T <sub>abs</sub>	Koeficient absolutní transmisivity	[m <sup>3</sup> ]
T	Koeficient transmisivity	[m <sup>2</sup> /s]

### Písmena řecké abecedy

β*	Koeficient celkové pružné kapacity zvodněného kolektoru	[Pa <sup>-1</sup> ]
----	---	---------------------

## 1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou odvodňování stavebních jam a lomů. Stavební jámu je třeba pro zakládání objektů připravit, tak aby podzemní voda neznemožňovala samu práci nebo nezhoršovala vlastnosti zemin pod základovou spárou. Podzemní voda nám zmenšuje např. úhel vnitřního tření zeminy, stabilitu a únosnost dna stavební jámy. Snižování úrovně hladiny podzemní vody pod potřebnou kótu se provádí odvodňováním, které může být trvalé nebo dočasné. Trvalé odvodnění podzemního prostoru je technicky a finančně náročné, a navíc vždy představuje citelný zásah do režimu vodního prostředí. Proto se častěji provádí dočasné snížení hladiny podzemní vody. Stavební jámu je nutné odvodnit pod úroveň předpokládaného dna stavební jámy. Při odvodňování stavebních jam odvádíme povrchovou i podzemní vodu. Stavební jámu můžeme odvodňovat anebo utěsnit prostor, do něhož prosakuje podzemní voda.

Při problematice odvodňování lomů musíme zajistit snížení hladiny přírodních zvodní, zabezpečení předpolí lomu před přítoky vod, jímání a odvádění srážkových vod a vod zbytkových přítoků podzemních vod. K odvodňování lomů patří i odvodnění skrývek a výsypek. Odvodnění závisí na podmínkách klimatických, hydrogeologických, hydraulických a technicko-ekonomických.

## 2 Základní principy podzemní hydrauliky ve vztahu k odvodňování

Zemina je trojfázový systém, který tvoří směs zrn pevné horniny, včetně organických směsí (skelet), vody a vzduchu. Zrna zeminy se navzájem dotýkají, kapalná, resp. plynná fáze vyplňuje mezery, tj. póry skeletu. Tyto póry v horninách zahrnujeme pod pojmem pórovitost. Nejdůležitější je pórovitost drenážní, umožňující otevřenými póry o potřebné velikosti proudění vody gravitační silou. Podzemní voda obsažená v zemině se může vyskytovat v podobě volné vody, vázané vody, anebo páry. Pro volbu metody zakládání má rozhodující vliv podzemní voda gravitační. Působí v ní hydrostatický a hydrodynamický tlak, vlivem kterých se voda pohybuje, prosakuje póry zeminy z míst s vyšším hydrostatickým tlakem do míst s nižším hydrostatickým tlakem. [8]

### 2.1 Základní veličiny v podzemní hydraulice a jejich jednotky

Vlastnosti kapalin z hlediska hydrauliky jsou charakterizovány těmito veličinami:

Koeficient absolutní transmisivity  $T_{abs}$  [ $m^3$ ]

Koeficient transmisivity  $T$  [ $m^2/s$ ]

Koeficient volné zásobnosti  $S_v$  [-]

Koeficient pružné zásobnosti  $S_p$  [-]

Pórovitost  $n$  [%]

Koeficient celkové pružné kapacity zvodněného kolektoru  $\beta^*$  [ $Pa^{-1}$ ]

Koeficient hladinové vodivosti  $a'$  [ $m^2/s$ ]

Koeficient tlakové vodivosti  $a$  [ $m^2/s$ ]

Koeficient filtrace  $K$  [ $m/s$ ]

Koeficient propustnosti  $k$  [ $m^2$ ]

#### 2.1.1 Koeficient filtrace

Je mírou propustnosti horninového prostředí pro tekutinu o dané hustotě a kinematické viskozitě a číselně je roven filtrační rychlosti (= objemovému průtoku vody jednotkovým průtočným průřezem) při jednotkovém piezometrickém gradientu. [22]

Způsoby určování filtračního součinitele rozdělujeme do několika hlavních skupin, a to laboratorní měření, polní zkoušky, stanovení z empirických vzorců a stanovení výpočtem z průběhu konsolidace. Výběr metody závisí na druhu zeminy, pro kterou je nutné určit koeficient filtrace. Laboratorní metody jsou pak vhodné pro zeminy v rozsahu filtračního součinitele  $K$  mezi  $10^{-1}$  a  $10^{-11}$  m/s (konstantním hydraulickým gradientem, s proměnným hydraulickým gradientem). Polními zkouškami je možné určit koeficient filtrace velmi

propustných a propustných zemín (čerpací, vsakovací, nálevové, indikátorové zkoušky a vodní tlaková zkouška). Stanovení z empirických vzorců se používá pro nesoudržné zeminy propustné a velmi propustné (Hazen, Jáky, Casagrande a Terzaghi). [25]

### 2.1.2 Koeficient propustnosti

Intenzita proudu vody podzemní vody v geologickém prostředí, je množství vody, které proteče průřezem geologického propustného prostředí za jednotku času. [10]

## 2.2 Systematika filtračních toků a proudění vody

Systémy zvodnění rozdělujeme na systémy s volnou hladinou, to jsou tíhové gravitační filtrační toky a systémy s napjatou hladinou, to jsou tlakové filtrační toky. Filtrační toky z hlediska prostorového uspořádání trajektorií dělíme na:

proudění pouze v ose x, rovnoběžné

proudění v ose x a y, radiální

proudění v ose x, y a z, centrální [23]

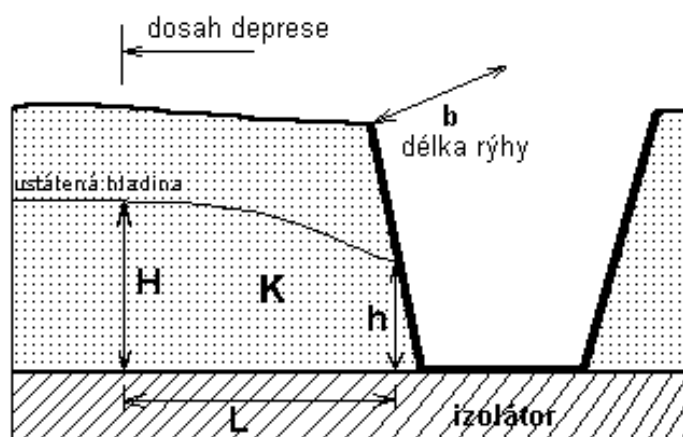
Proudění vody je pohyb tekutiny, při kterém se částice tekutiny pohybují svým neuspořádaným pohybem a zároveň se posouvají ve směru proudění. Voda vždy proudí z místa vyššího tlaku do místa nižšího tlaku.

### 2.2.1 Ustálené proudění

Je to proudění, při němž se v daném místě tekutiny nemění její rychlost v závislosti na čase. Vektor rychlosti proudění je funkcí pouze místa  $v = f(x, y, z)$

#### 2.2.1.1 Rovnoběžné proudění s volnou hladinou

Výpočty jsou využitelné při liniových drenážních výkopech.



Obrázek 1 Proudění v ose x s volnou hladinou [3]

Přítok do drénu se vypočítá jako:

$$Q = \frac{K \cdot b \cdot (H^2 - h^2)}{2 \cdot L} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (2.1)$$

Koeficient filtrace K [m/s]

Délka rýhy b [m]

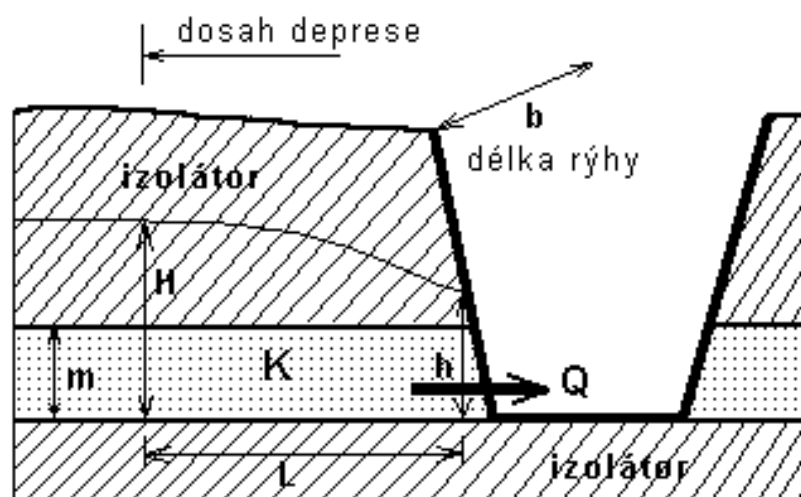
Výška hladiny podzemní vody nad nepropustným podloží H [m]

Výška dynamické hladiny podzemní vody h [m]

Dosah snížení hladiny podzemní vody L [m] [3]

### 2.2.1.2 Rovnoběžné proudění s napjatou hladinou

Výpočty jsou využitelné při liniových drenážních výkopech.



Obrázek 2 Proudění v ose x s napjatou hladinou [3]

Přítok do drénu se vypočítá jako

$$Q = \frac{K \cdot b \cdot m \cdot (H - h)}{L} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (2.2)$$

Koeficient filtrace K [m/s]

Délka rýhy b [m]

Mocnost kolektoru m [m]

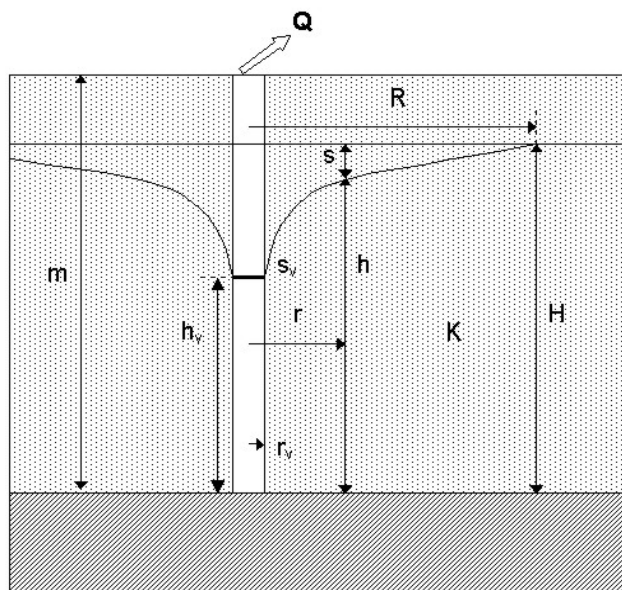
Výška hladiny podzemní vody nad nepropustným podloží H [m]

Výška dynamické hladiny podzemní vody h [m]

Dosah snížení hladiny podzemní vody L [m] [3]

### 2.2.1.3 Radiální proudění s volnou hladinou

Výpočty využitelné u studní a čerpacích jehel.



Obrázek 3 Proudění v ose x a y s volnou hladinou [3]

Přítok se vypočítá jako

$$Q = \frac{\pi \cdot K \cdot (H^2 - h^2)}{\ln R - \ln r} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (2.3)$$

Koeficient filtrace K [m/s]

Mocnost kolektoru m [m]

Výška hladiny podzemní vody nad nepropustným podloží H [m]

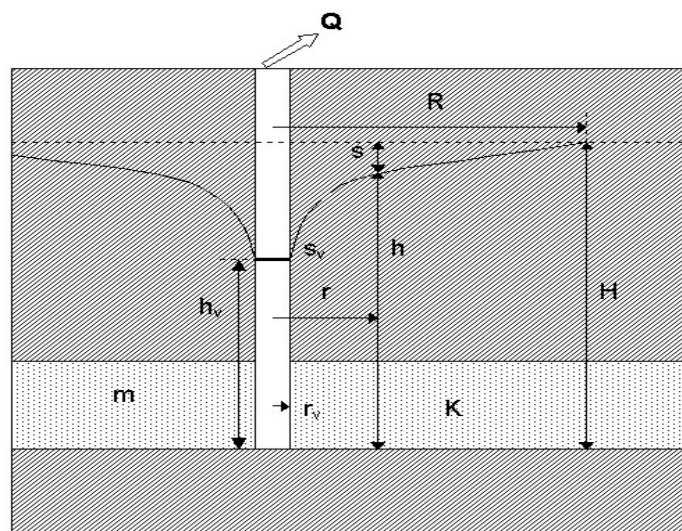
Výška dynamické hladiny podzemní vody h [m]

Dosah snížení hladiny podzemní vody R [m]

Vzdálenost snížení hladiny podzemní vody r [m] [3]

### 2.2.1.4 Radiální proudění s napjatou hladinou

Výpočty využitelné u studní a čerpacích jehel.



Obrázek 4 Proudění v ose x a y s napjatou hladinou [3]

Přítok se vypočítá jako

$$Q = \frac{2\pi \cdot K \cdot m \cdot (H - h)}{\ln R - \ln r} \text{ [m}^3/\text{s]} \quad (2.4)$$

Koeficient filtrace K [m/s]

Mocnost kolektoru m [m]

Výška hladiny podzemní vody nad nepropustným podložím H [m]

Výška dynamické hladiny podzemní vody h [m]

Dosah snížení hladiny podzemní vody R [m]

Vzdálenost snížení hladiny podzemní vody r [m] [3]

### 2.2.2 Neustálené proudění

Je to proudění, u něhož se v daném místě tekutiny rychlost v závislosti na čase mění.

Vektor rychlosti proudění je místo a čas  $v = f(x, y, z, t)$ .

Snížení hladiny se vypočítá jako:

$$s = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot T} W(u) \text{ [m]} \quad (2.5)$$

Vydatnost přítoku Q [m<sup>3</sup>/s]

Transmisivita T [m<sup>2</sup>/s]



Argument studňové funkce

$$u = \frac{r_1^2}{4 \cdot a \cdot t} \quad (2.6)$$

Vzdálenost pozorovacího objektu  $r_1$  [m]

Tlaková vodivost  $a$  [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]

Studňová funkce [3]

$$W(u) = \ln\left(\frac{1}{u}\right) - 0,57721 + \frac{1}{u} - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \dots + \frac{u^n}{n \cdot n!} \quad (2.7)$$

### 2.3 Metoda velké studny

Pro výpočet odvodňování lomu a stavebních jam atypických rozměrů se běžně využívá metoda velké studny, tj. přepočítání půdorysu na kruhový.

Pro poměr délky ku šířce 1:1 až 1:4 se stanoví náhradní poloměr

$$r_0^2 = \frac{F}{\pi} \quad (2.8)$$

Plocha stavební jámy, lomu  $F$  [ $\text{m}^2$ ]

Dosah deprese se stanoví empirickými vzorci:

Sicharda

$$R = 3000 \cdot (H - h_0) \cdot \sqrt{K} \quad (2.9)$$

Kusakina

$$R = 575 \cdot (H - h_0) \cdot \sqrt{K \cdot H} \quad (2.10)$$

Celkové přítokové množství se stanoví

$$Q = \frac{\pi \cdot K \cdot H}{\ln(R + r_0)} \quad (2.11)$$

Dosah snížení hladiny podzemní vody  $R$  [m]

Koeficient filtrace  $K$  [m/s]

Výška hladiny podzemní vody nad nepropustným podloží  $H$  [m]

Pro poměr délky ku šířce v rozmezí 1:5 až 1:10 se stanoví náhradní poloměr

$$r_0 = \frac{l}{4} [\text{m}] \quad (2.12)$$

Délka stavební jámy  $l$  [m]

Celkové přítokové množství se stanoví

$$Q = \frac{\pi \cdot K \cdot m \cdot (2 \cdot H - m)}{\frac{\ln(R + r_0)}{r_0}} [\text{m}^3/\text{s}] \quad (2.13)$$

Výška hladiny podzemní vody nad nepropustným podloží  $H$  [m]

Mocnost kolektoru  $m$  [m]

Dosah snížení hladiny podzemní vody  $R$  [m]

Koeficient filtrace  $K$  [m/s]

### **3 Průzkumné práce pro návrh odvodnění**

Průzkumné práce studují hydrogeologické poměry v horninovém masivu, výšku hladiny podzemní vody, rychlost a směr proudění podzemní vody, její chemické složení, velikost a dynamiku zvodně atd. Tyto a mnoho dalších informací zjišťuje pro zajištění odvodnění ložiska při jeho těžbě a odvodnění stavenišť.

Skladba a rozsah průzkumných prací odpovídají složitosti geologické stavby zájmové oblasti, projektovém záměru, stanovené geotechnické kategorii a etapovitosti hydrogeologického průzkumu s ohledem na splnění cílů průzkumu a jeho účel.

V prostoru zájmové oblasti se kombinuje více průzkumných metod např. práce odkryvné s terénními zkouškami a měřeními. [7]

#### **3.1 Hydrogeologické mapování**

Pro vyjádření charakteru a prostorové proměnlivosti hydrogeologických poměrů se zpracovává hydrogeologická mapa, která je dvourozměrným půdorysným znázorněním hydrogeologického modelu.

Mapování se provádí jak u studia plošně rozlehlých území, tak u projektů rozlehlých stavebních záměrů. Hlavně se používá na území se složitými geologickými poměry a výskytem geodynamických jevů.

Velikosti mapovaného celku a průzkumné etapě odpovídá měřítko mapy a počet dokumentačních bodů. [7]

#### **3.2 Práce odkryvné**

Pracemi odkryvnými jsou kopaná díla a vrtné práce.

Uplatňují se vždy, pokud je četnost a vypovídající schopnost využitelných přirozených i umělých odkryvů ve spojitosti s údaji z archivních podkladů nedostatečná. Odkryvné práce doplňují stávající geologické informace. [7]

##### **3.2.1 Kopaná díla**

Kopaná díla umožňují přímý kontakt s horninovým prostředím ve větším zkoumaném objemu a ploše. Provádí se ručně i strojně.

Díla umísťujeme s ohledem na statický stav blízkých konstrukcí a morfologii terénu tak, aby nedošlo k jejich narušení. Ve svažitém terénu se doporučuje vedení delšího rozměru průzkumného díla ve směru spádnice svahu.

Neprovádí se v případě očekávaných silných přítoků podzemní vody do díla nebo očekávané celkové nestability průzkumného díla.

Všechna kopaná odkryvná díla dbají dle právních předpisů na bezpečnost osob a okolní infrastruktury a staveb. Díla, která již ztratila svůj význam, musí být po pořízení dokumentace neprodleně zlikvidována. Způsob likvidace je definován v projektu hydrogeologického průzkumu. [7]

### 3.2.2 Vrtné práce

Při vrtných pracích hydrogeologického průzkumu se volí taková technologie vrtání, která ve vztahu k cílům průzkumu umožní spolehlivou identifikaci horninového materiálu včetně jeho vlastností v přirozeném uložení a odběr všech typů požadovaných vzorků. Volí se současně taková technologie vrtání, aby nebylo ohroženo množství a jakost podzemní vody zájmové oblasti.

Pro odběr vzorků ve vrtech se používají odběrné přístroje.

Vrty s nestabilními stěnami, zejména ve zvodněném prostředí, se musí v průběhu vrtání vystrojit manipulačním pažením. Metody a postup vrtných prací jsou organizovány tak, aby byl zajištěn výnos vrtného jádra požadovaný v projektu inženýrskogeologického průzkumu, a současně tak, aby bylo vrtné jádro co nejméně ovlivněno technologií vrtání.

Výnos vrtného jádra se ukládá do vzorkovnic, před jeho dokumentací nesmí dojít k jeho nežádoucí degradaci klimatickými vlivy.

Šnekové, náběrové a nárazové technologie vrtání se smí pro hydrogeologický průzkum použít pouze výjimečně v odůvodněných případech. Bezjádrové vrtání se smí použít pouze výjimečně.

Pro sledování ustálené hladiny podzemní vody, realizaci hydrodynamických zkoušek se musí vrty dočasně nebo trvale vystrojit.

Vrty, u nichž není podle projektu hydrogeologického průzkumu počítáno s jejich ponecháním jako vrty vystrojené, musí být po splnění cílů průzkumu adekvátně zlikvidovány. Způsob likvidace vrtů je uveden v projektu hydrogeologického průzkumu. Musí se zajistit, aby zájmová oblast nebyla odkryvnými pracemi negativně ovlivněna s ohledem na její další využití a bezpečnost, a to jak povrchu terénu, tak i pod povrchem. Likvidace vrtů musí být provedena tak, aby nedošlo k ohrožení jakosti podzemní vody.

V případě ponechání vrtů pro jeho následné jiné využití je nutné vrt odborně zabezpečit proti vniku povrchových vod a látek nebezpečných podzemním vodám. [7]

### **3.3 Terénní zkoušky a měření**

Terénní zkoušky a měření slouží k vyšetření vlastností horninového prostředí in situ. Doplnují informace z odkryvných prací.

Při hydrogeologickém průzkumu se nedovoluje samostatné nasazení pouze terénních zkoušek a měření jako jediné průzkumné metody pro vytvoření hydrogeologického modelu bez údajů z aktuálních odkryvných prací nebo věrohodných archivních údajů z odkryvných prací. [7]

### **3.4 Odběr zkušebních vzorků a laboratorní práce**

Zkušební vzorky se z hlediska jejich kvality a kvantity pro daný cíl hydrogeologického průzkumu vybírají tak, aby výstižně a dostatečně charakterizovaly inženýrskogeologický a hydrogeologický model zájmové oblasti, tj. především hydrogeologické vlastnosti horninového prostředí v přirozených podmínkách, a to i s ohledem na dlouhodobé geologické procesy.

Vzorky zemín pro laboratorní zkoušky dělí do pěti tříd kvality s ohledem na vlastnosti zeminy, o nichž se předpokládá, že zůstaly nezměněny během odběru vzorku a manipulace s ním včetně dopravy a skladování. Vzorky se po odběru odpovídajícím způsobem musí ochránit, aby nedošlo k jejich změně, ovlivnění, či znehodnocení před laboratorním zpracováním.

Pokud při průzkumu není možný odběr vzorků podzemní vody z aktuálně prováděných sond, mají se využít stávající neovlivněné zdroje vody v zájmové oblasti reprezentující stejnou zvěď.

Součástí zprávy inženýrsko-geologického průzkumu staveniště je i vyhodnocení o agresivitě vody získané laboratorními pracemi. Útočnost podzemní vody může být vyluhovací, kyselostní, síranová, uhličitá a hořčnatá. [7]

## 4 Projekt odvodňování, systémy odvodňování stavebních jam a lomů

Zakládání staveb v hydrogeologických podmínkách České republiky je skoro vždy spojeno s problémem výskytu podzemní vody, kdy hladina je většinou v malé hloubce pod terénem. [5]

Odvodňování je umělým zásahem do přirozeného geohydrodynamického systému za účelem snížení hladiny podzemní vody nebo piezometrické úrovně podzemní vody, resp. za účelem osušení kolektoru.

Z hlediska časového dělíme odvodnění na dočasné (povrchové, hloubkové) a trvalé (těsnicí stěny). Dočasné odvodnění je v provozu pouze po dobu trvání stavebních prací a po jejich ukončení je opět obnoven původní vodní režim, kdežto u trvalého je změna režimu nastálo.

Ochranu proti negativním vlivům podzemní vody můžeme řešit těmito způsoby

- a) Dočasné odvodnění stavební jámy
- b) Vybudování těsněné stavební jámy (podzemní stěny, injektáž)
- c) Kombinace těsnících prvků a odvodnění
- d) Studňovým, resp. kesonovým spouštěním objektů
- e) Betonováním základů pod hladinou podzemní vody

Správný návrh dočasného odvodnění má obsahovat tyto části:

- a) Přehled hydrogeologických poměrů
- b) Technický popis objektu z hlediska zakládání
- c) Volba způsobu odvodnění
- d) Výsledný návrh odvodnění obsahující umístění čerpacích objektů, potřebné čerpané množství k požadovanému snížení, druh a počet čerpadel, případně čerpací stanice s rezervou
- e) Postup snižování hladiny a návrh kontrolního systému
- f) Výpočet vztlaku a stability proti vyplavování
- g) Pokyny pro případ havárie [5]

Odvodňování podzemních vod se řídí zákonitostmi podzemní hydrauliky a vede k odstranění vody z části pórového prostoru (průliny) a z propustných trhlin a puklin skalních a poloskalních hornin.

## 4.1 Systémy odvodňování stavebních jam

Kritéria pro výběr vhodné metody odvodnění jsou technické (plošný rozměr a hloubka objektu pod hladinou podzemní vody) a hydrogeologické (uložení propustných vrstev a méně propustných vrstev a koeficient filtrace vrstev). [1]

Odvodnění stavebních jam může být:

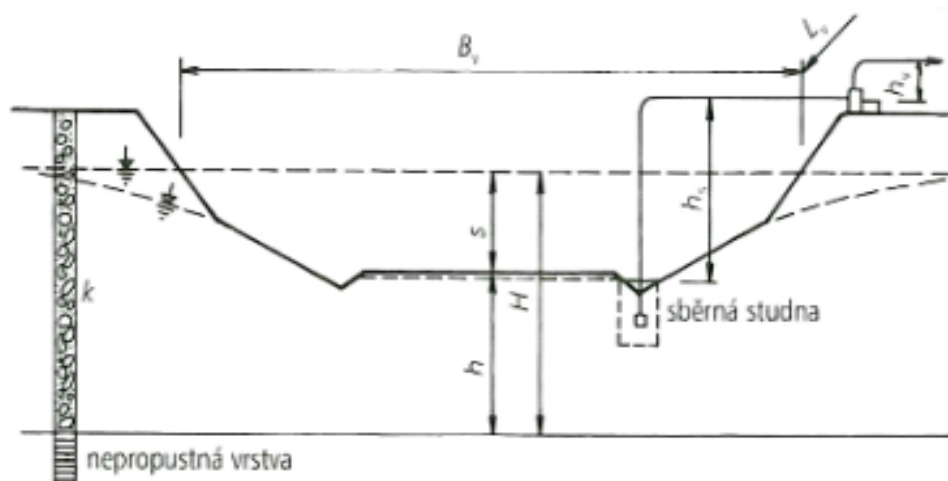
- povrchové,
- hloubkové:
  - gravitačně čerpacími studnami,
  - gravitačně čerpacími jehlami,
  - vákuově čerpacími jehlami,
  - čerpací jehly na principu elektroosmózy.

Zemina	Čistý štěrk		Štěrkopísek			Velmi jemný písek		Písek se silem		Silt s jílem	
	Hrubý štěrk		Štěrk a písek			jemný písek		Hlína		jíl	
$D_{10}$ mm	6	2-6	0,5-2	0,2-0,5	0,05-0,2	0,02-0,05	0,005-0,02	0,002-0,005		0,002	
$k$ ms <sup>-1</sup>	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	
klasifikace	velmi propustné		propustné			málo propustné		skoro nepropustné		nepropustné	
možnosti odvodnění	těsněná stav. jáma							electroosmóza			
rozsah použití	Povrchové do 3m		Hloubkové gravitační								
doporuč. rozsah použití						Hloubkové vakuové					

Obrázek 5 Metody odvodnění stavebních jam pro typy zemin podle koeficientu filtrace [3]

### 4.1.1 Povrchové odvodňování

Tento typ odvodňování se uplatňuje ve štěrkovitých, případně hrubozrnných písčitých zeminách. Jáma bývá vždy svahovaná, do které prosakuje voda svahy a dnem. Z hlediska ekonomického je toto řešení používat nejvýhodněji v mělkých stavebních jamách. Povrchové odvodnění spočívá v tom, že vodu zachytáváme pomocí rigolů anebo drénů, odvádíme do sběrné studně a odtud se voda odčerpává do odpadu. [1]

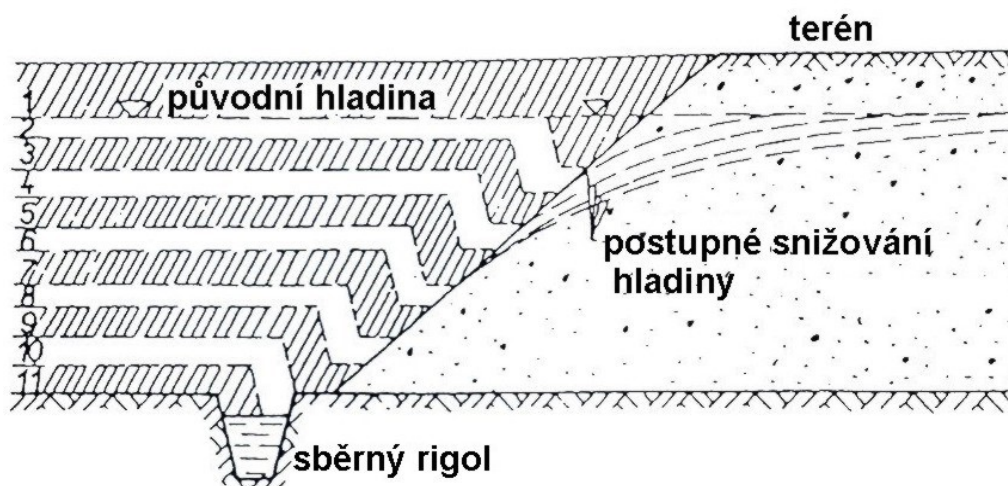


Obrázek 6 Schéma povrchového odvodňování stavební jámy [1]

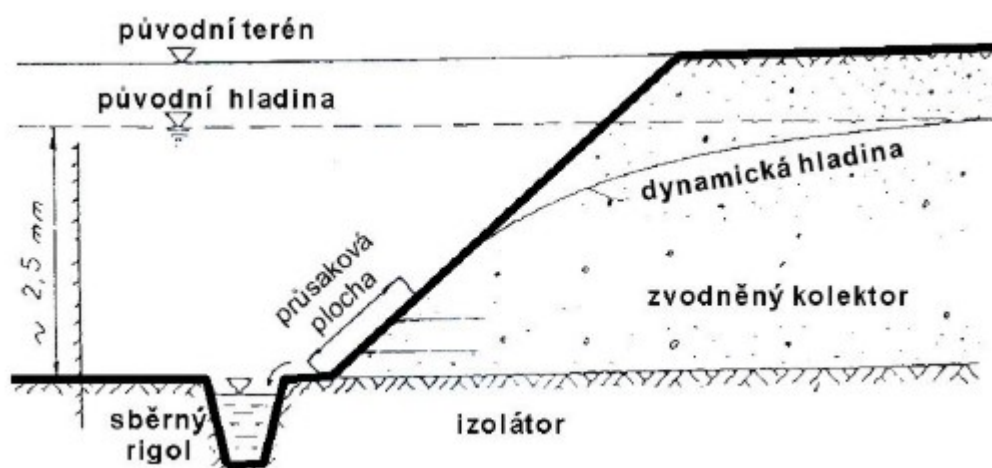
### Technologický postup povrchového odvodnění

Půdorysný rozměr stavební jámy se musí navrhnout tak, aby byl dostatečný prostor pro odvodňovací rigoly mimo projektovaný objekt. Jáma se může kopat v suchu až po úroveň 30–50 cm nad momentální hladinu podzemní vody. Od této úrovně se postupuje následujícím způsobem. V předstihu před výkopem, který se provádí v horizontálních vrstvách, se vždy prohloubí odvodňovací rigoly po obvodě jámy tak, aby byly vždy pod úrovní dna a aby snížením hladiny umožňovaly práci v jámě. Současně se také prohlubuje sběrná studna. V případech, kdy je přítokové množství vody velmi malé a nehrozí nebezpečí vyplavování jemných zrn zeminy, se může postupovat tak, že se hloubí jáma se dnem skloněným k sběrné studni a systém odvodňovacích rigolů se zrealizuje až po dosažení požadované hloubky. [5]



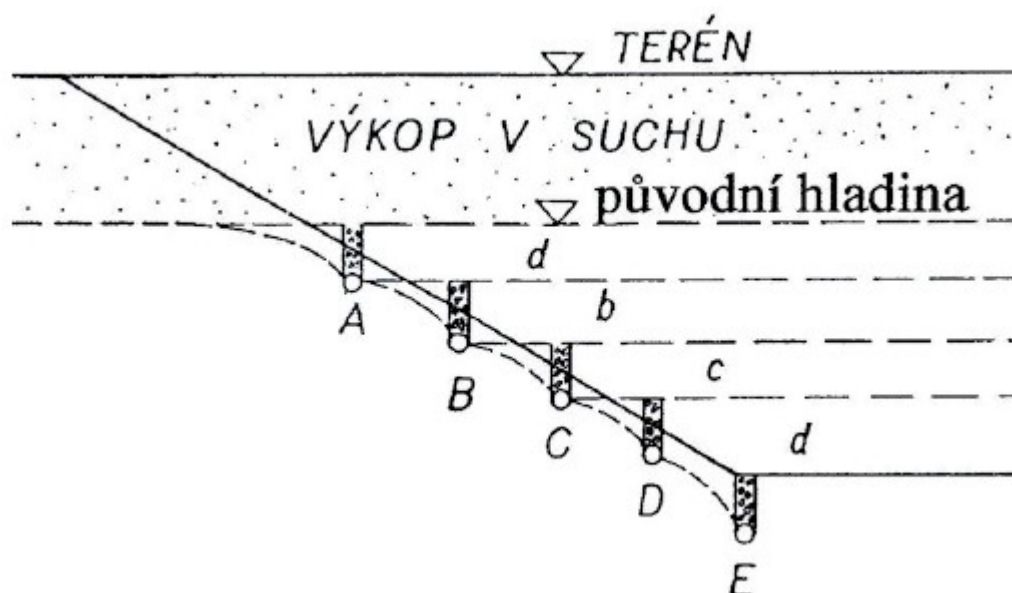


Obrázek 7 Postup výkopu a snižování hladiny [3]



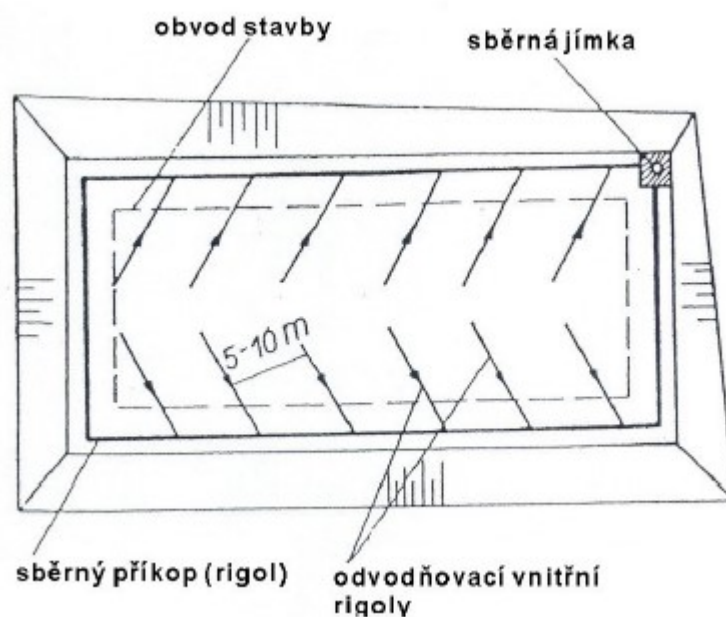
Obrázek 8 Konečný stav aplikovaného povrchového odvodnění [3]

V jemnozrnných zeminách s tendencí k tečení je zapotřebí hloubit odvodňovací drény v předstihu, aby se snížila hladina vody pod úroveň odebrané vrstvy a výkop byl v suchém prostředí. [5]

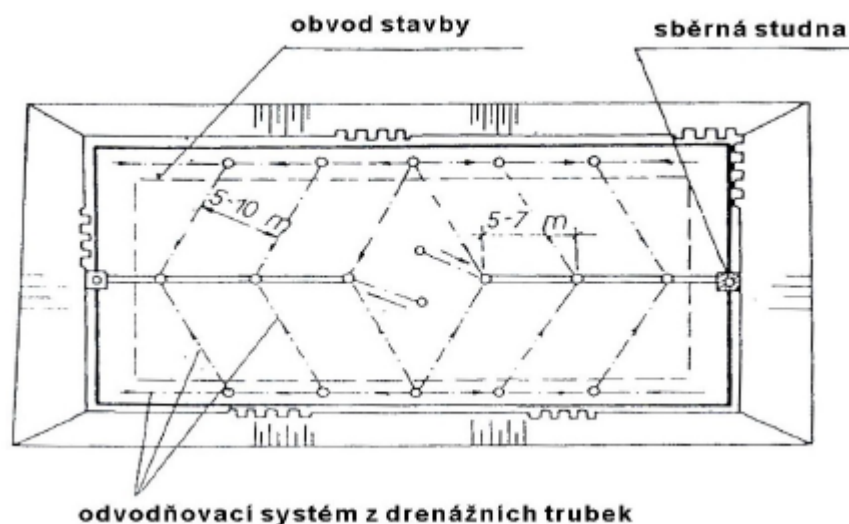


Obrázek 9 Postup výkopu a snižování hladiny podzemní vody pomocí horizontální drenáže [3]

Odvodňovací rigoly umísťujeme mimo pôdorys objektu. Jejich podélný sklon má byť 0,5 % až 2 %. Priečný profil rigolu býva trojuholníkový alebo lichobežníkový se sklony 1: 2 až 1: 4. Sběrné studny se umísťují mimo půdorys objektu v nejhlubších částech výkopu. Jsou to betonové skruže o průměru 1 až 1,5 m nebo pažené šachty o rozměru 2 x 2 m. Hloubka studny má být taková, aby pod sacím košem čerpadla byla po dno studny vzdálenost alespoň 0,5 m a hladina podzemní vody překrývala sací koš o 0,3 až 0,5 m. [1]



Obrázek 10 Půdorysné schéma stavební jámy pro plochy do 400 m<sup>2</sup> [3]



Obrázek 11 Půdorysné schéma stavební jámy pro plochy větší než 400 m<sup>2</sup> [3]

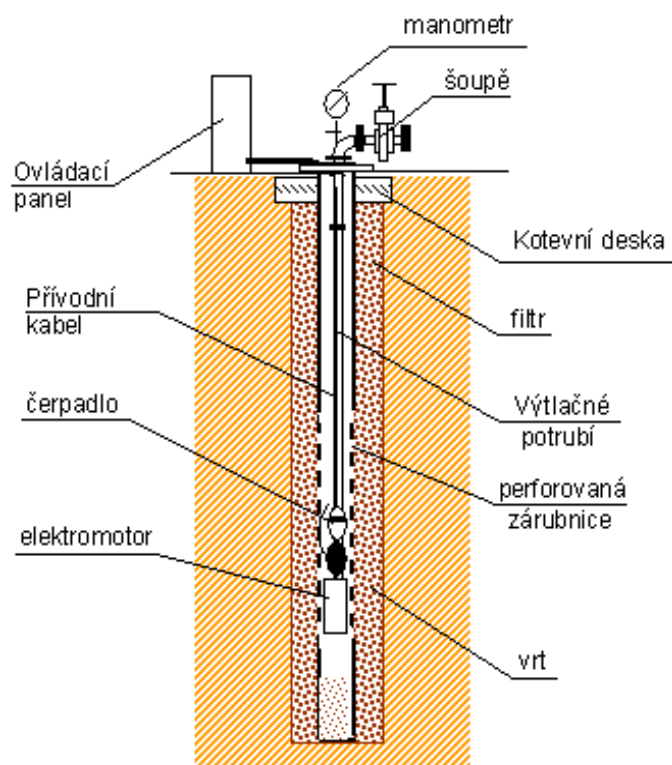
Odvodňovací drény po ukončení čerpání je potřeba ucpat. Drény se ucpou injektováním řídkou cementovou kaší. Sběrné studně se likvidují výplňovým betonem anebo dobře zhutněným štěrkopískem, tak aby nezůstaly žádné dutiny. [5]

#### 4.1.2 Hloubkové odvodňování čerpacími studnami

Po obvodě jámy jsou rovnoměrně umístěny vrtané studně o průměru 150–600 mm, někdy i více podle potřebné kapacity a hloubky požadovaného snížení. Hloubka studně je 3násobkem požadovaného snížení hladiny podzemní vody. Optimální vzdálenost mezi nimi je 25 až 35násobkem jejich průměru (závislé na koeficientu filtrace). Do každé studny je umístěno čerpadlo nebo je několik studní propojeno sběrným potrubím napojeným na čerpadlo. Studny jsou aplikovány před samotným započítím hloubení stavební jámy, takže poté hloubíme v suchém pracovním prostoru.

Ve štěrkovitých zeminách je možné podzemní vodu odvodňovat horizontálně směrovými studnami. Podél stavební jámy se zhotoví sběrné šachty, z nichž jsou rovnoběžně se stranami výkopu orientovány vodorovné vrty, vystrojeny perforovanými odvodňovacími trubkami. [1]

Částmi vrtané studně jsou zárubnice a filtr studně. Zárubnice se skládá z kalníku-spodní část studně, která slouží k usazování jemného materiálu, filtrační perforovaná část, kterou proudí voda do studně a nástavná část, která sahá od perforované části až k zhlaví studně nad terénem. Perforace musí být taková, aby tvořila minimálně 20 % celkové plochy pláště. Filtr studně je tvořen obsypem o tloušťce 70–100 mm.



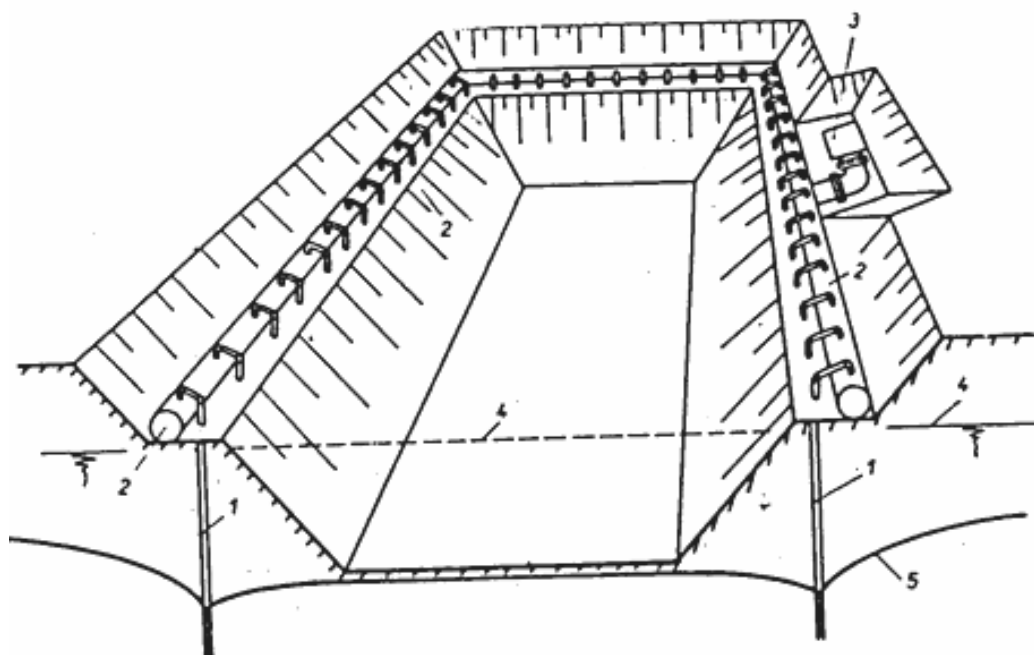
Obrázek 12 Řez vrtanou studní [24]

### Technologický postup odvodnění čerpacími studnami

Pod ochranou manipulační výpažnice se vyvrtá vrt, do vrtu se vloží perforovaná zárubnice menšího průměru obalená geotextilií a volný prostor mezi výpažnicí a zárubnicí se vyplní filtračním materiálem. Vnitřní průměr zárubnice musí být dostatečně velký, aby do studně vešel sací koš čerpadla a byl přitom vzdálený min. 10 cm do stěny. Aby se zabránilo vyplavování jemného materiálu do studně při čerpání, chrání se dno studně 20 – 50 cm vrstvou filtračního materiálu. [5]

#### 4.1.3 Hloubkové odvodňování čerpacími jehlami

Tento typ odvodňování se používá nejčastěji pro jemnozrnné písky. Hladinu podzemní vody lze čerpacími jehlami snížit přibližně o 3 m. Vzdálenost mezi čerpacími jehlami je 0,6 až 1,8 m. Při menší vzdálenosti by se nedaly vpláchnout, při větší by jejich účinnost nebyla spolehlivá. Čerpací jehly jsou napojeny na sběrné potrubí o průměru 125 až 250 mm, uložené v mírném stoupání 0,3 až 0,5 % směrem k čerpadlu. Čerpací jehly odvodňujeme samonasávacími čerpadly. Při odvodnění čerpacími jehlami hrozí zavzdušnění systému skrz perforované části jehel. Zavzdušnění lze zabránit použitím jehel s dvojitou koncovkou. [1]

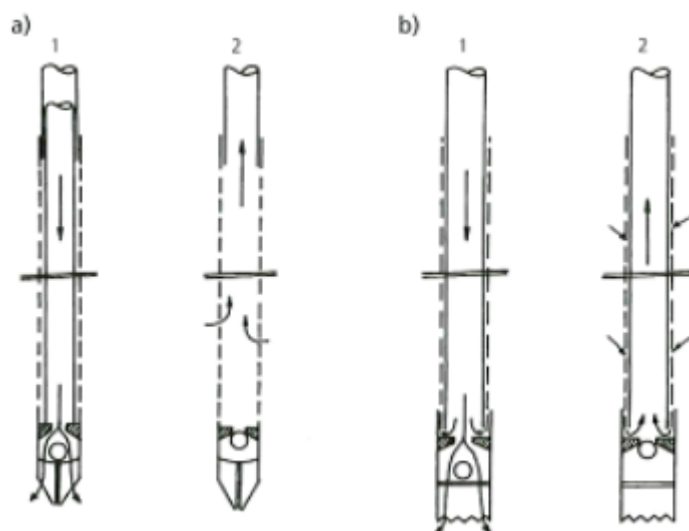


1 – čerpací jehla, 2 – sběrné potrubí, 3 – čerpací stanice, 4 – hpv, 5 – snížená hpv

Obrázek 13 Schéma odvodňovacího systému čerpacími jehlami [3]

Gravitační systém čerpacích jehel pracuje stejně jako systém vrtaných studní. Rozdíl spočívá v tom, že na začátku čerpání je nutno vytvořit podtlak v celé nasávací větvi čerpacího systému, aby voda doputovala až k čerpadlu. Během provádění čerpání se udržuje mírný podtlak, aby nedocházelo k zavzdušnění a přerušování čerpání.

Čerpací jehla se skládá z koncovky a nástavce. Její celková délka dosahuje 6 až 8 m. Zhotovena je z ocelové trubky o průměru 40 až 50 mm. Koncovka, která je dlouhá 0,8 až 1,6 m je perforovaná a umožňuje vplachování jehly do požadované hloubky, ale také čerpání vody. Koncovka je jednoduchá anebo dvojité. [5]



Obrázek 14 a) jednoduchá koncovka b) dvojité koncovka 1. fáze vplachování 2. fáze čerpání [1]

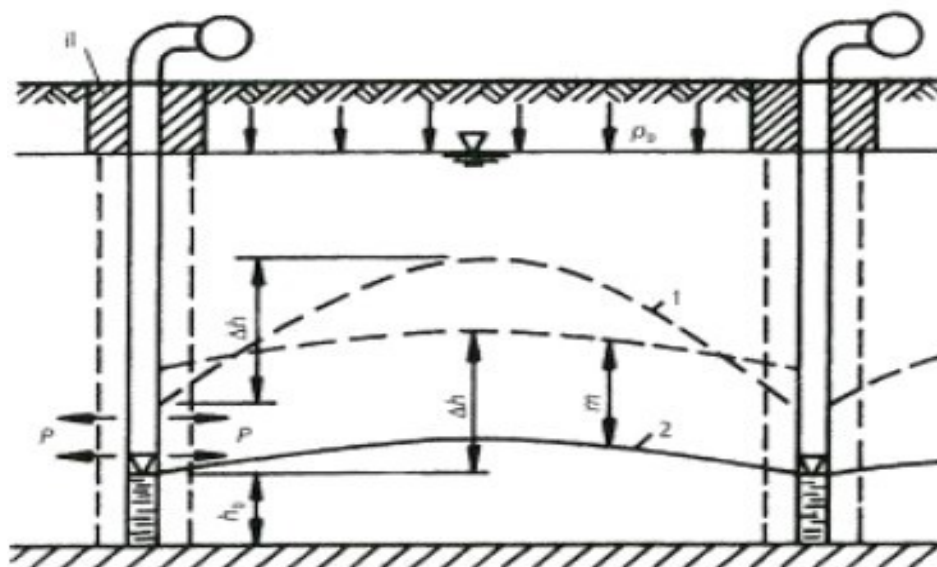
### Technologický postup odvodnění čerpacími jehlami

Nejprve se zemina odkope na úroveň hladiny podzemní vody v celém rozsahu stavební jámy anebo se vyhloubí rýha pro uložení hlavního sběrače a vplachování jehel. Tento postup umožní optimální výškové situování čerpacího systému s minimální nasávací výškou. Po celém obvodu stavební jámy se rozloží a připraví sběrné potrubí. Při spojování jednotlivých částí dbáme na těsnost jednotlivých prvků, aby nedošlo k zavzdušnění systému. Po smontování se vplachují jehly. V záloze by mělo být asi 20 % čerpacích jehel pro případ poškození nebo zrychlení snižování hladiny podzemní vody. [5]

#### 4.1.4 Hloubkové odvodňování vakuovými čerpacími jehlami

Pokud propustnost vodonosného kolektoru klesne na hodnoty  $10^{-5}$  až  $10^{-7}$  m/s, čerpací jehly se stávají neúčinnými. Rozdíl mezi gravitačním a vakuovým systémem čerpacích jehel spočívá v tom, že v celém systému se udržuje stálý podtlak cca  $0,5 - 0,7$  kp/cm<sup>2</sup>. V případě méně propustných zemin se podtlak ještě zvýší. Vakuum zvyšuje hydraulický spád a filtrační rychlost. Když se při povrchu terénu nenachází přirozená vrstva jemnozrnných zemin, okolí vplachovaných jehel se do hloubky 0,5 až 1 m od povrchu utěsní jílem tak, aby vzniklo těleso o průměru přibližně 1 m. Druhou možností, pokud jsou čerpací jehly vkládané do předvrtaných otvorů, je utěsnění prostoru vně blízko povrchu území též do hloubky asi 1 m pod jílem. Dosáhne se tak podtlaku, který umožní jehlami odčerpávat vodu. Od sběrného potrubí po sníženou hladinu v jehlách bude výškový rozdíl max. 6 m. Ve stavební jámě dojde ke snížení hladiny podzemní do 4 m. Používají se samonasávací čerpadla, pokud ne, tak je třeba odstředivá čerpadla kombinovat s vývěvou. Na sběrné potrubí se těsně před čerpadly napájí podtlaková nádrž. [1]

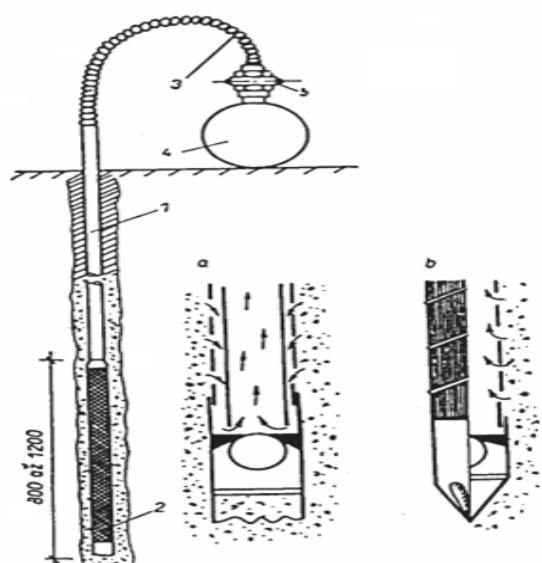




Obrázek 15 Schéma pro odvodnění vákuovými čerpacími jehlami [1]

1 – snížená hladiny při gravitačním odvodnění, 2 – snížení hladiny při vákuovém odvodnění

Konstrukčně se čerpací jehly gravitační a vákuové neliší.

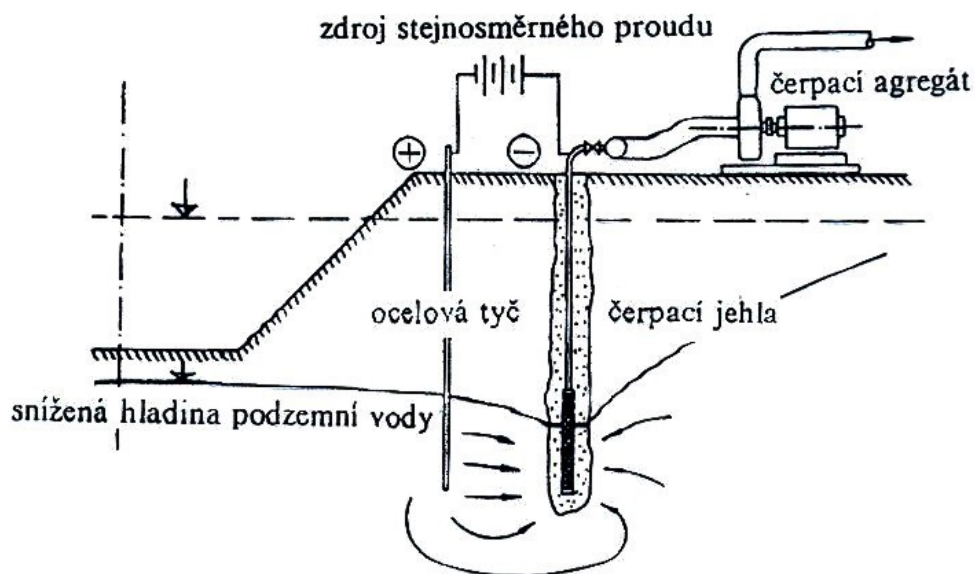


1 – čerpací jehla, 2 – koncovka, 3 – spojovací hadice, 4 – sběrné potrubí, 5 – uzavírací ventil

Obrázek 16 Řez jehly a detail koncovky [24]

#### 4.1.5 Hloubkové odvodňování čerpacími jehlami na principu elektroosmózy

Tato metoda se používá k odvodňování jemnozrnných zemin, které se nedají gravitačně odvodnit. Elektroosmóza je fyzikální proces. V tenkých vrstvách vody na stěnách kapilárních průlin dochází vlivem stejnosměrného elektrického proudu k pohybu vodních částic od kladného k zápornému náboji. Kladně nabitě jsou jehly zaráženy do zeminy a záporně nabitě jsou čerpací kovové pažnice studny ze kterých se čerpá. [3]



Obrázek 17 Schéma odvodnění čerpacími jehlami na principu elektroosmózy [3]

## 4.2 Systémy odvodňování lomů

Předmětem odvodňování lomů je jednak voda povrchová, pocházející z atmosférických srážek, z vodních toků a nádrží, jednak gravitační voda v podzemí

Stupeň odvodnění zemin a hornin je dán okrajovými podmínkami, které dělíme do těchto skupin

- Podmínky klimatické: v důsledku srážkové činnosti se zvyšuje vlhkost a plasticita zemin na pracovních plošinách skryvkových řezů a vlhkost materiálu dopravovaného pásovými dopravníky. Proti tomuto nepříznivému působení neexistuje žádné dokonalé opatření.
- Podmínky hydrogeologické: hlavní podmínkou odvodňování jsou kontinuita zvodněné části a influkce. Kolektory, které nemají kontinuální vývoj obsahují např. izolované čočky, které jsou obtížně zjistitelné i podrobným geologickým průzkumem a je věcí náhody umístění vrtů. Influkce je vsakování vody z povrchových toků a vodních nádrží do zvodněných kolektorů. Odvodňování části dotované influkcí, je nemožné anebo neefektivní, je třeba odstranit influkci (přeložení vodních toků, izolace koryt apod.)
- Podmínky hydraulické: Přítok podzemní vody do odvodňovacích objektů a vlastní efekt odvodňování závisí především na koeficientu filtrace. Pro efektivní odvoditelnost je koeficient filtrace minimálně  $K=1 \cdot 10^{-6} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$ . Zeminy, které



uvedenou podmínku nesplňují nejsou odvodnitelné gravitačním způsobem. Přítok do odvodňovacích objektů je malý, kolem těchto objektů se vytváří strmý depresní kužel, efektivní poloměr dosahu snížení činí jen několik metrů, takže není dosaženo potřebného snížení hladiny podzemní vody. Dobývání málo propustných ale zvodnělých uloženin a zajišťování jejich stability je nutno řešit jiným způsobem např. úpravou svahu řezu na sklon, snížením výšky řezu apod.

Další omezující hydraulickou podmínkou odvodňování je hydrodynamická nedokonalost odvodňovacích objektů, např. odvodňovacích vrtů. Vrtý nemohou zachytit veškerou podzemní vodu i při hustém uspořádání vrtů. Při rostoucím počtu odvodňovacích vrtů a klesající rozteči vzrůstá vzájemné ovlivňování vrtů a snižuje se přítok do jednotlivých objektů. Tzv. proskok odvodňovací soustavou nazýváme, když do z předpolí lomu protéká více vody, než jsou schopny vrtý zachytit, tuto situaci musíme řešit doplňkovými odvodňovacími metodami přímo v lomu.

Závažnou hydraulickou podmínkou odvodňování v předpolí lomu je nelineární časový průběh snižování hladiny podzemní vody. Při rozšiřování depresní kotliny vzrůstá exponenciálně objem odvodněného prostoru a uvolňují se rovněž tzv. pružné zásoby podzemní vody, takže odčerpávaný objem vody, potřebný pro dosažení určitého snížení hladiny podzemní vody, soustavně a rovněž nelineárně vzrůstá v závislosti na hloubce snížené hladiny. Např. objem vody potřebný k určitému snížení hladiny o 10 m v hloubce 20 m je menší než objem vody potřebný ke snížení také o 10 m v hloubce 60 m.

Důležitý je fakt, že čas potřebný k odvodnění je přesně vymezen a nelze jej zkracovat. Opožděné uvedení odvodňovací soustavy do provozu se projeví zvýšeným přítokem do lomu.

Odvodňovací systémy se realizují jako investiční akce, které vyžadují přípravu a realizaci nejméně 3-4 let.

- d) Podmínky technické a ekonomické: technickou podmínkou je např. minimální vydatnost odvodňovacího čerpacího vrtu  $0,5 \text{ l.s}^{-1}$ , pro menší vydatnost nelze provozovat ponorné čerpadlo. Použití jiného systému odčerpávání je pracnější a náročnější.

Výše ekonomických nákladů se odvozuje od hydrogeologických poměrů, kdy náklady na odvodnění se blíží hodnotě užitkového nerostu. [4]

Při odvodňování lomů musíme zajistit předpolí lomů před povrchovými vodami, odvodnění skrývky a výsypek, odvodnění dna lomu a odvodnění hlubších kolektorů v předpolí lomu. [4]

#### **4.2.1 Zabezpečení předpolí lomu přeložkami povrchových vodních toků**

Přeložka je stavba ke svedení původního koryta vodního toku do jiné vedlejší oblasti. Jedná se o negativní zásah do životního prostředí, protože narušuje fungování ekosystému vodních toků. Povrchové vodní toky jsou překládány mimo dobývací prostory v době výstavby lomu. V rámci ochrany lomů před velkými vodami nebo dlouho trvajících srážkami, zejména v podzimním a jarním období, je důležité provést vždy řádnou prověrku všech přeložek a objektů na přeložkách. Důležité je dbát o pravidelné čištění koryt povrchových toků a přeložek těchto toků od usazených splavenin, které mohou způsobit havárii lomu, přeléváním vody mimo koryto. [4]

#### **4.2.2 Zabezpečení předpolí lomu regulačními, retenčními a přečerpávacími nádržemi**

Tyto vodní stavby jsou realizovány v době výstavby lomu. Slouží pro regulaci průtoků a tlumení povodňových vln na vodních tocích v dobývacích prostorech. Zvláštní pozornost je nutno věnovat stavu hrází, zda neprosakují, zda nejsou poškozeny jinými stavebními zásahy. Sledujeme také, zda nebyl zmenšen objem retenčního prostoru, vlivem stavebních zásahů nebo jiné nežádoucí činnosti, která by mohla ohrozit funkci díla. [4]

#### **4.2.3 Zabezpečení předpolí lomu odvodňovacími příkopy**

Lomy je nutno chránit již v předpolí před přítokem dešťové vody, která při vydatných deštích může proudit na skrývku, kde zhoršuje stabilitu řezů a únosnost pracovních plošin.

Odvodňovací příkopy rozdělujeme na trvalé, které nejsou zasahovány postupem skrývky a dočasné, které je nutno likvidovat a opět na jiném místě budovat.

Odvodňovací příkopy nemá smysl budovat tam, kde povrch předpolí klesá ve směru postupu porubní fronty a povrchové vody odtékají směrem od lomu. Je to případ, kdy předpolí lomu je drénováno přirozenou cestou povrchovým vodním tokem, který plní funkci odvodňovacího příkopu.

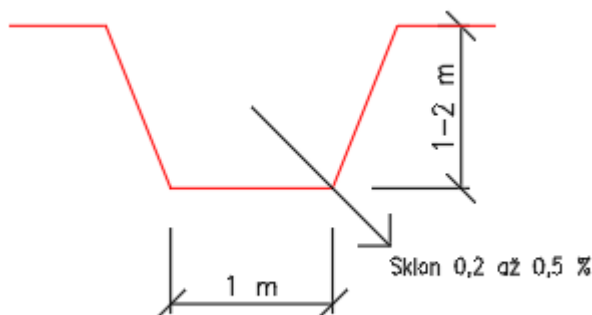
Délka příkopu a umístění závisí na morfologii terénu. Trasy příkopů se zaměřují výškově a při realizaci se zajišťuje předepsaný kontinuální spád.

Sběrné příkopy je účelné budovat jako gravitační jímací objekty, které mohou vodu odvádět samospádem do povrchových vodotečí, případně nádrží mimo dobývací prostor.

Trvalé odvodňovací příkopy, umístěné většinou v prostoru bočního svahu lomů, je účelné opevnit a utěsnit betonem.

Hlavní zásady pro budování a provozování sběrných příkopů v předpolí:

- a) Budovat příkopy tam, kde je terén zhruba vodorovný, anebo se svažuje směrem do lomu
- b) Stěny příkopů zajišťovat před sesouváním vysvahováním a u trvalých příkopů provést betonové opevnění a utěsnění koryt
- c) Vodu odvádět mimo povodí lomu, nejlépe gravitačním způsobem
- d) V rámci přípravy na zimní provoz je nutno zkontrolovat průtočnost sběrných příkopů
- e) Pro budování příkopů vybavit závody vhodnou mechanizací
- f) V průběhu realizace měřicky kontrolovat dodržování předepsaného spádu a projektovaných tras odvodňovacího systému [4]



Obrázek 18 Řez odvodňovacího příkopu s orientačními rozměry

#### 4.2.4 Zabezpečení předpolí lomu ochrannými hrázemi a stěnami

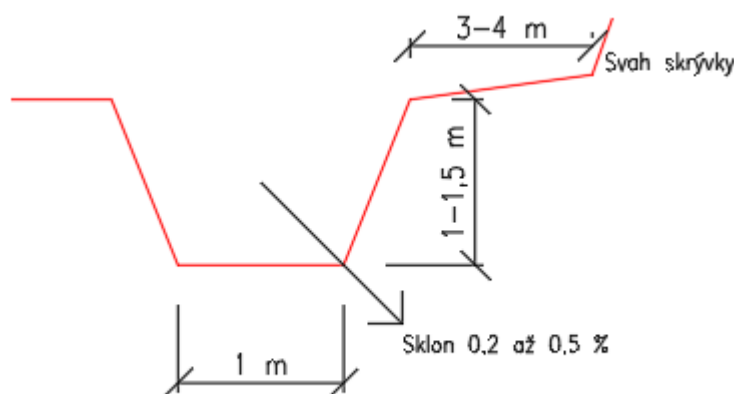
Hráze se budují podél vodních toků a v jejich předpolí, které jsou v sousedství s dobývaným prostorem a zabraňují průtoku vody do lomu při vyšších vodních stavech a vystupování z koryta. Nepropustné podzemní stěny navazující na sypané hráze na povrchu ochraňují před povrchovými vodami ale i proti průsakům vody z povrchových toků a nádrží. [4]

#### 4.2.5 Odvodnění skrývky

Odvodňování se provádí pomocí soustavy otevřených drenážních příkopů, které se hloubí podél paty svahu.

Příkopy se trasují ve vzdálenosti 3-4 m od paty svahu, aby nedošlo k jeho podmáčení a porušení stability. Vzhledem ke krátké životnosti příkopů se nesvahují stěny koryta, avšak je důležité, aby příkopy měly kontinuální spád, aby byl zaručen spolehlivý odtok vody a co nejvíce byla eliminována možnost druhotné infiltrace z příkopu do propustných hornin.

Odvádění vody ze systému drenážních příkopů lze řešit gravitačně, nebo přečerpáváním čerpacími stanicemi, anebo pomocí svodových vrtů. [4]



Obrázek 19 Řez odvodňovacího příkopu a orientační rozměry [3]

#### 4.2.6 Odvodňování dna lomu

Odvodnění spočívá v tom, že vodu zachytáváme pomocí obvodových příkopů a vnitřních rigolů, odvádíme do sběrné studně a odtud se voda odčerpává do odpadu.

Tyto práce mají zásadní význam pro stabilitu vnitřní výsypky, a tím v některých případech rozhodující význam pro postup lomového dobývání v rámci celého dobývacího prostoru. [4]

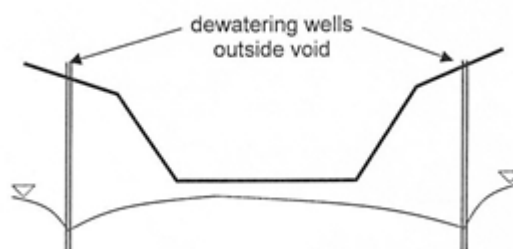
#### 4.2.7 Odvodňování hlubších kolektorů v předpolí lomu systémem vertikálních vrtů

Čerpací odvodňovací vrty jsou v předpolí lomu nejčastěji v liniovém uspořádání, mohou však být umístěny rovněž v pravidelné nebo nepravidelné síti, případně zcela nepravidelně a jsou vybaveny čerpadly. Umístění vrtů, jejich počet a vzájemné vzdálenosti se určují podle hydrogeologických poměrů, postupů dobývání a výsledků hydraulických výpočtů.

Použití vrtů má své přednosti:

- a) Výhodné z ekonomického hlediska

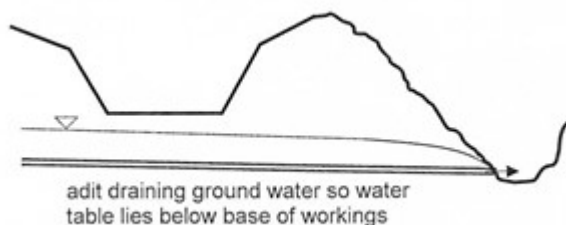
- b) Soustavu lze regulovat dle daných hydraulických a hydrogeologických podmínek
- c) Metoda vylučuje nákladné báňské práce v podzemí v době realizace a provozu
- d) Metoda není závislá na složitosti geologického uložení dobývaného ložiska
- e) Podzemní voda se nedostává do kontaktu s ložiskem a čerpá se z menších hloubek na povrch terénu, takže se nezhoršuje kvalita odčerpávané vody
- f) Nezatěžují provoz problematikou ražení a likvidaci báňských děl při dobývání
- g) Umožňují odvodňovat zvodněné obzory v nadloží, ale i v podloží [4]



Obrázek 20 Odvodnění vertikálními vrtů [2]

#### 4.2.8 Odvodňování hlubších kolektorů v předpolí lomu systémem horizontálních báňských děl

Odvodňovací štola ražená v horizontálním směru ve spádu odvádí podzemní vodu většinou gravitačně do jímky podzemní čerpací stanice. [4]



Obrázek 21 Odvodnění horizontálním báňským dílem [2]

#### 4.2.9 Odvodňování hlubších kolektorů v předpolí lomu kombinovaným systémem vrtů a báňských děl

Podzemní voda, zachycená systémem spádových odvodňovacích vrtů v nadloží nebo přelivovými vrtů v podloží ložiska se odvádí do odvodňovacích chodeb vyražených ve sloji. Odvodňovací chodby, do kterých jsou vrtů zaústěny a v nichž jsou načerpávány, fungují jako spádovací soustava, která zajišťuje odvádění vody do jímky podzemní čerpací stanice.

Kombinace těchto systémů má několik nevýhod:

- a) Ekonomicky velmi náročné z důvodu potřeby ražení a udržování soustavy dlouhých důlních děl v předpolí lomu, jejichž realizace je pracná
- b) Problémy se soustavou odvodňovacích chodeb v místech složitějšího strukturního uložení sloje. Největší potíže jsou s úpadním ražením odvodňovacích chodeb ve zvodnění sloji
- c) Značná těžkopádnost a obtížnost regulace provozu odvodňovacích vrtů
- d) Snížení hladiny podzemní vody podložních zvodněných kolektorů pod bází sloje, potřebné pro zajištění stability zejména bočních svahů lomu, nelze tímto systémem zajistit.

Odvodňovací chodby ve sloji je totiž z bezpečnostních důvodů potřebné razit tak, aby v podloží chodby zůstávala dostatečně mocná vrstva sloje. Z tohoto důvodu je vždy soustava odvodňovacích chodeb založena několik metrů na počvou sloje [4]

#### 4.2.10 Ochrana výsypek před povrchovými vodami

Podle potřeby je nezbytné přeložení povrchových vodních toků mimo výsypný prostor. S ohledem na místní hydrogeologické podmínky se utěsňují přeložky proti průsakům, zejména pak proti zpětným průsakům povrchové vody do výsypného prostoru. Kde se realizují přeložky a v jakých úsecích se buduje těsnění rozhoduje podrobná hydrogeologická mapa. Likvidují se všechny vodní nádrže ve výsypném prostoru. Žádoucí je zabezpečit co nejrychlejší odtok srážkových vod z povrchu vybudovaných výsypek. [4]

#### 4.2.11 Ochrana výsypek před podzemními vodami

Podzemní voda se nachází v původním prostředí podloží výsypky a také ve vlastních výsypkových tělesech. Z praktického hlediska rozdělujeme odvodnění výsypek před podzemními vodami:

- a) Preventivní odvodňování: cílem je jímání podzemních vod a pramenů v podloží výsypky a průsakových vod, které na podložku prosáknou z vlastního tělesa výsypky. Realizuje se před zasypáním výsypného prostoru a plní funkci i po překrytí výsypkovými zeminami. Nejčastěji se využívá gravitační drenáž. Každý drén je tvořen třemi konstrukčními prvky. Předně drenážním příkopem, širokým 2-3 m a hlubokým 1,5-4 m, dále propustným zásypem a perforovaným drenážním potrubím o průměru 150-350 mm podle jímací kapacity drénu. Aby nedocházelo k ucpávání drénů, dodržuje se minimální spád 5 promile. Jímací kapacita drénů se volí s rezervou 50 %. Vzdálenost mezi drény pro plošné odvodňování se stanoví

hydraulickým výpočtem. Hladina podzemní vody se snižuje na všech místech pod úroveň povrchu terénu.

Dalším prvkem preventivního odvodňování je plošná drenáž celého výsypného prostoru, propustnou vrstvou štěrkopísku nebo lomového kamene. Mocnost vrstvy musí být aspoň 1 m a je potřebné, aby odvodňovaný prostor nebyl příliš členitý a umožňoval gravitační odtok vody.

Výjimečně se používají spádovací vrty, vsakovací vrty, vertikální drény a čerpací odvodňovací vrty.

- b) Následné odvodňování: všechny odvodňovací práce, které se provádějí ve výsypce i v jejím podloží po zasypání.

Výsypky mají velmi nízký koeficient filtrace v řádech  $10^{-6}$ - $10^{-7}$  m/s a v této oblasti je gravitační odvodnění z hydraulických důvodů neefektivní. Odvodnění výsypkových zemin s menším koeficientem filtrace než  $10^{-6}$  m/s je nevyřešeným problémem.

Pro výsypky s vyšším koeficientem filtrace se používají spádové vrty nebo vertikální drény, které umožňují vodu bez čerpání spouštět na podložku výsypky buď do sběrných drénů, do umělého obzoru, nebo hlouběji do podloží, do odvodňovacích chodeb.

Výhodou je gravitační odvodnění bez nutnosti čerpání, nevýhodou je obtížnost vrtných prací ve výsypkových zeminách. [4].

## 5 Enviromentální dopady odvodňování, vliv vody na stabilitu stěn výkopů

### 5.1 Enviromentální dopady odvodňování

Dopady odvodňování mohou být od zanedbatelných dopadů v případě malých povrchových dolů a stavebních jam až po významné poklesy vodní hladiny a následné dopady na systém povrchových vod ve velmi rozsáhlých oblastech. Následky poklesu hladiny podzemní vody v důsledku odvodňování zahrnují:

- a) Snížené hladiny v tocích, mokřadech a jezerech, které jsou v hydraulické kontinuitě s podzemními vodami.
- b) Snížování hladiny podzemní vody vede k vysoušení studní a vysoušení zavlažovacích vrtů.
- c) Pokles povrchu terénu, a to buď kvůli kompakci jemnozrnných sedimentů, nebo kvůli zhroucení dutin v krasových terénech.
- d) Znečištění povrchových nebo podzemních vod, pokud jsou čerpané vody špatné kvality a vypouštěny do přírodního prostředí bez předchozího ošetření.

Opatření, která se využívají k zmírnění dopadů poklesu hladiny podzemní vody:

- a) Voda se může do povrchových vodotečí čerpat potrubím.
- b) V citlivých ekologických oblastech může být voda čerpána čerpadly zpět odváděna do povrchových útvarů
- c) Alternativní zásobování vodou může být poskytováno pro obce nebo jednotlivce, jejichž studny vyschnou
- d) Voda může být před vhodným vypouštěním vyčištěna [2]

### 5.2 Vliv vody na stabilitu stěn výkopů

Vliv podzemní vody můžeme charakterizovat takto:

- a) Projeví se zhoršením mechanických a fyzikálních vlastností zemin. V nesoudržných zeminách se může dojít ke snížení smykové pevnosti, v důsledku toho se sesouvají svahy stavební jámy, případně se zmenší jejich stabilita, sníží se únosnost podloží. Sklon svahů stavební jámy s povrchovým odvodňováním je potřeba pod úroveň hladiny podzemní vody navrhnout mírnější, čím se zvětší objem výkopových prací



- b) Proudící voda může způsobit filtrační poruchy, pohyb jemných zrn, jejich postupné vyplavování (sufoze), ztekucení písku apod. V důsledku těchto poruch se zhorší stabilita svahů stavební jámy, ale i dna, resp. aj jeho nejbližšího okolí. Vyplavováním zeminy začne terén v okolí klesat, což nepříznivě ovlivňuje sousední objekty.
- c) Podzemní voda ovlivňuje také konstrukci vlastního základu stavby. Působí na ni hydrostatickým tlakem a na základovou spáru působí vztlaková síla, a tím se zhoršuje stabilita stavby, zvyšují se nároky na hydroizolace. Základovou konstrukci nepříznivě ovlivňuje také agresivita vody. [5]

## 6 Příklady ve vztahu k odvodňování

V této praktické části jsou popsány inženýrskogeologické a hydrogeologické průzkumy firem K-Geo, s.r.o, Drilling Trade, s.r.o, EKOHYDRO, s.r.o, G-Consult, s.r.o a dále inženýrskogeologické a hydrogeologické posudky odborníků.

### 6.1 Odhad přítoku do stavební jámy Slezská Ostrava-SALMA, čištění odpadních vod

Cílem závěrečné zprávy firmy K-Geo, s.r.o. čištění odpadních vod jsou hydrogeologické poměry zájmové oblasti a na to navazuje vyjádření hydrogeologa.

#### 6.1.1 Základní údaje

Zpráva shrnuje výsledky inženýrsko-geologického a hydrogeologického průzkumu realizovaného pro stavbu zemních filtrů na čištění odpadních vod z OKD, a.s VOJ SC, provoz pila Salma.

Lokalita se nachází v Moravskoslezském kraji, v katastru Slezská Ostrava a Radvanice. [13]



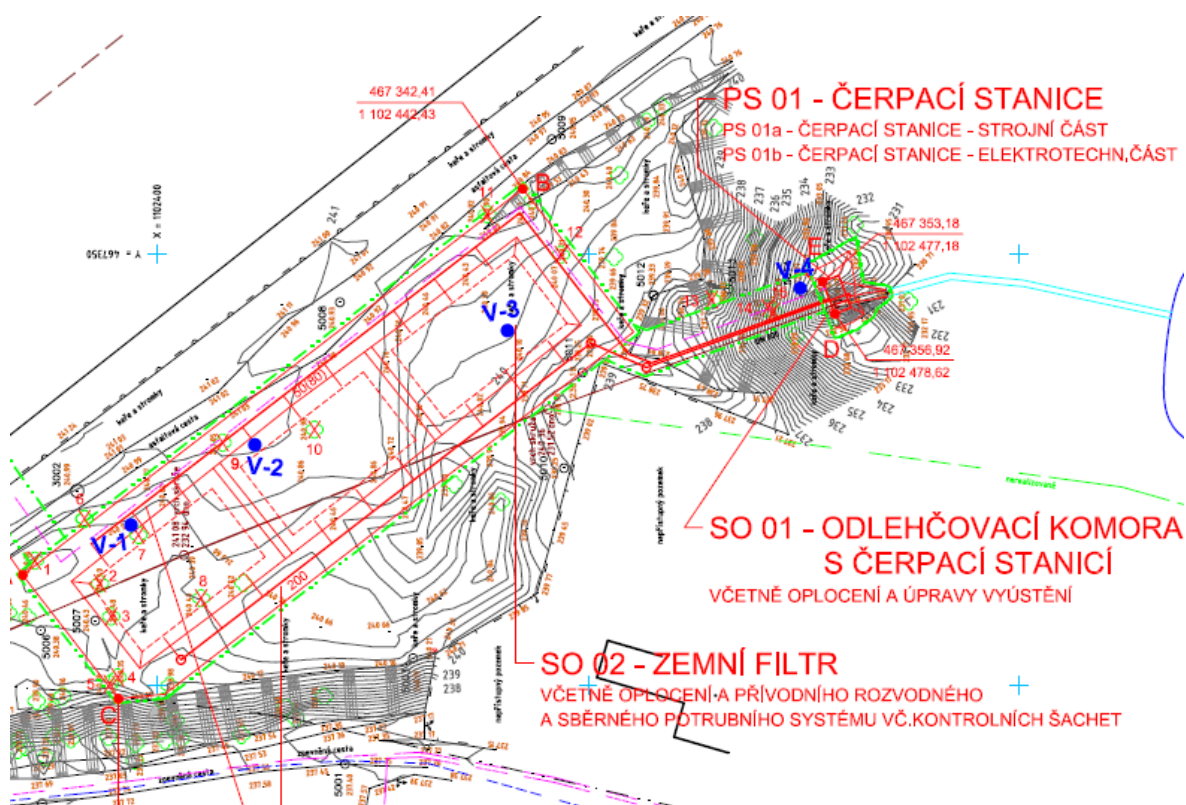
Obrázek 22 Letecký snímek s orientačním vyznačením zájmové oblasti [13]

#### 6.1.2 Průzkumné práce

Cílem průzkumných prací bylo ověření hydrogeologických a inženýrskogeologických poměrů v prostoru navržené stavby a posouzení geotechnických parametrů zemin vrstevního sledu.

V prostoru budoucího staveniště byly s ohledem na omezenou dostupnost vrtné soupravy vytyčeny 4 vrty s označením V-1 až V-4. Vrtné práce byly provedeny dne 25.8.2014. Vrty V-1 až V3 byly realizovány firmou GEOSTA Ostrava, s.r.o. Vrtáno bylo jádrově nasucho strojní pojízdnou soupravou HVS-04A. Tyto jádrové vrty byly odvrtány do hloubky 4 m od původního terénu. Vrt V-4 byl vzhledem ke svému umístění v dolní části svahu odvrtán pomocí ruční vrtné soupravy fy. Eijkelkamp do hloubky 2,2 m od původního terénu.

Po zdokumentování vrtného jádra a změření ustálené hladiny podzemní vody byly všechny vrty likvidovány záhozem. [13]



Obrázek 23 Situace průzkumných vrtů [13]

### 6.1.3 Hydrogeologické vyhodnocení

V zájmovém území byla podzemní voda ověřena v antropogenních navážkách, kde tvoří nesouvislé zvodnění vzhledem k proměnlivému složení návozů. Při průzkumných pracích byla podzemní voda zastižena vrty V-2 a V-3. Úroveň naražené hladiny se pohybovala v hloubkovém rozmezí 2,2 – 2,5 m, ustálená hladina byla změřena v hloubce 1,6 a 2,95 m p.t. Aktuální úroveň hladiny podzemní vody je závislá na klimatických poměrech a předpokládalo se její kolísání v průběhu hydrogeologického roku. [13]

#### 6.1.4 Odhad přítoku vody do stavební jámy

Podle skutečností zjištěných průzkumem se očekávalo ovlivnění stavby podzemní vodou, která je v zájmovém území vázaná na granulometricky příznivé polohy v antropogenních navážkách. Uvažovalo se tedy s odvodněním základové spáry odlehčovací komory i zemního filtru a s odvodněním rýh pro uložení propojovacích potrubí.

Podzemní a srážkové vody byly odváděny drenážní vrstvou na dně stavebních jam a rýh do čerpací jímky a odtud přes odkalovací jímku vypouštěny do stávající kanalizace nebo do stávajícího přítoku do rybníka.

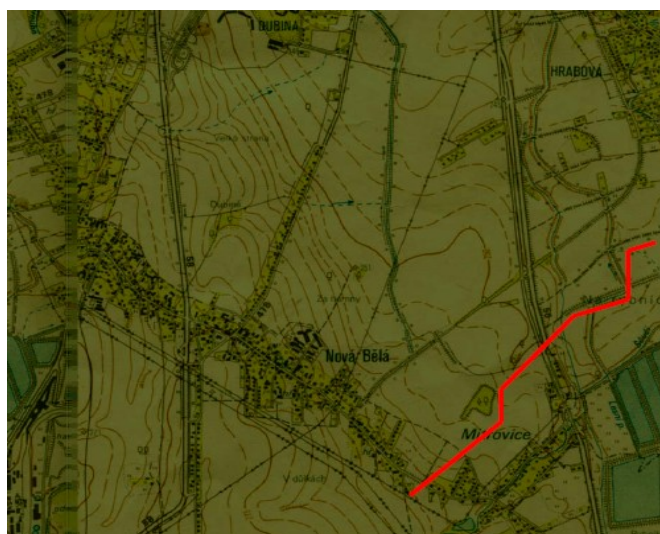
Podle podkladů o projektovaných objektech a zjištěných hydrogeologických poměrech se odhadoval přítok podzemní vody do stavební jámy odlehčovací komory s čerpací stanicí max. 1 l/s, do ostatních výkopů pak max. 0,5 l/s. Maximální čerpané množství do čerpací jímky svedené podzemní vody pak činil 1,5 l/s, průměrné množství bylo předpokládáno 0,5 l/s. Vzhledem k tomu, že se v zájmovém území jedná o nesouvislé zvodnění, které je ovlivňováno klimatickými poměry, vydatnost jednotlivých přítoků podzemní vody je proměnlivá, je v uvedených množstvích podzemních vod zahrnuta i určitá rezerva. [14]

### 6.2 Stanovení přítoku vody do stavebního výkopu Ostrava Nová Bělá-Hrabová, propojení kanalizace

Cílem závěrečné zprávy firmy K-Geo, s.r.o. bylo stanovení přítoku vody do stavebního výkopu budované kanalizace z inženýrskogeologického a hydrogeologického průzkumu.

#### 6.2.1 Základní údaje

Lokalita se nachází v Moravskoslezském kraji, okrese Ostrava, na jižním okraji města. [12]



Obrázek 24 Situace zájmového území [12]

### 6.2.2 Průzkumné práce

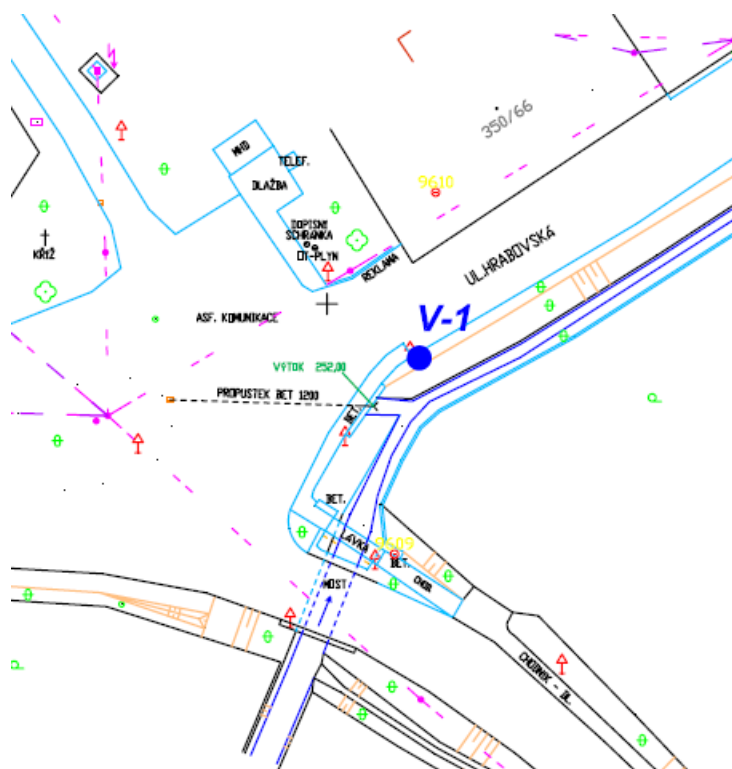
Terenním pracem předcházela prohlídka míst vytypovaných pro inženýrskogeologické vrtý s upřesněním definitivní pozice. Pro vlastní průzkum bylo navrženo a realizováno celkem 7 vrtů do hloubky 3 – 5,5 m, označených symboly V-1 až V-7. Při umístění vrtů v pozicích daných projektantem bylo přihlédnuto k průběhu stávajících podzemních i nadzemních inženýrských sítí, jejich ochranným pásmům a dále pak především vzhledem možnostem dojezdu a ustavení strojní a vrtné soupravy.

Terénní práce byly provedeny ve dnech 26. a 27. dubna 2005. Vrtý provedla s využitím jádrové technologie nasucho strojní pojízdnou soupravou typu HVS-04A firma GEOSTA Ostrava, s.r.o.

Po ukončení vrtání a změření ustálených hladin podzemní vody byly vrtý likvidovány záhozem. [12]

### 6.2.3 Hydrogeologické vyhodnocení

Podzemní vody mělkého kvartérního oběhu jsou na lokalitě vázány na průlinově propustný kolektor štěrků hlavní a údolní terasy. Druhotné zvodnění zde představuje infiltrovaná srážková voda – viz zavěšená zvodněn na bázi navážek ve vrtu V-3. Hladina podzemní vody byla v rámci navržené trasy naražena v hloubkách 1,7 m (vrt V-3) až 4,7 m (vrt V-2), na konci vrtání pak byla zaměřena v úrovni 1,7 m (vrt V-3) až 4,2 m (vrt V-2). [12]



Obrázek 25 Situace průzkumného vrtu V-1 [12]



#### 6.2.4 Stanovení přítoku vody do stavebního výkopu

Dno projektovaných výkopů v jednotlivých částech trasy v okolí provedených vrtů nacházelo vždy 0,5 -1 m nad bází konkrétního vrtu. Hloubka výkopu navržené trasy kolísá mezi 2,5 až 5 m. Šířka výkopu pro navrženou kanalizaci činí 1,3 m. Výkopy zasahovaly ve většině případů pod úroveň naražené hladiny podzemní vody anebo se k ní významně přiblížily. Nejen s ohledem na možnost sezonního kolísání bylo tedy nutno počítat s přítoky vody do výkopů a s jejím čerpáním.

Pro odhad přítoku podzemní vody do výkopů byla brána v úvahu jejich hloubka v úrovni 1 m nad bází každého vrtu.

K orientačnímu určení předpokládaného přítokového množství  $Q$  [l/s] podzemní vody do výkopů byla použita Dupuitova rovnice ustáleného přímkově rovnoběžného proudění pro zvodně s napjatou a volnou hladinou. Výpočet byl proveden pro oboustranný přítok do výkopu se započtení přítoku ze dna, a to vždy pro délku výkopu 100 m. Dále byla do výpočtu zavedena řádová hodnota koeficientu filtrace pro štěrkový kolektor  $K = 1 \cdot 10^{-4}$  m/s<sup>1</sup>.

Pro zvodně s volnou hladinou (hlavní terasa) platí rovnice:

$$Q = \frac{K \cdot b \cdot (H^2 - h^2)}{2 \cdot L} \cdot 1000 \text{ [l/s]} \quad (6.1)$$

Koeficient filtrace  $K$  [m/s]

Délka rýhy  $b$  [m]

Ustálená hladina podzemní vody  $H$  [m]

Snížená hladina podzemní vody  $h$  [m]

Dosah snížení hladiny podzemní vody  $L$  [m]

Vzdálenost mezi ustálenou hladinou ve vrtu a dnem výkopu (dle Kusakina):

$$L = 575 \cdot s \cdot \sqrt{K \cdot H} \text{ [m]} \quad (6.2)$$

Pro zvodně s napjatou hladinou (údolní terasa s plně zvodnělým štěrkovým horizontem) platí rovnice:

$$Q = \frac{K \cdot b \cdot m \cdot (H - h)}{L} \cdot 1000 \text{ [l/s]} \quad (6.3)$$

Koeficient filtrace  $K$  [m/s]

Délka rýhy  $b$  [m]

Mocnost kolektoru  $m$  [m]

Ustálená hladina podzemní vody  $H$  [m]

Snížená hladina podzemní vody  $h$  [m]

Dosah snížení hladiny podzemní vody  $L$  [m]

Vzdálenost mezi ustálenou hladinou ve vrtu a dnem výkopu (dle Sichardta):

$$L = 3000 \cdot s \cdot \sqrt{K} \text{ [m]} \quad (6.4)$$

Pro určení orientační hodnoty přítoku ze dna výkopu byl použit empirický vzorec:

$$Q = 0,08 \cdot b \cdot K \cdot (H - h) \cdot \left(\frac{c}{L}\right) \cdot 1000 \text{ [l/s]} \quad (6.5)$$

Šířka výkopu  $c$  [m]

Po dosazení hodnot všech použitých parametrů do výpočtů byla zjištěná výsledná hodnota předpokládaného přítokového množství na 100 m výkopu pro úsek v okolí vrt V-1 ... Q1, pro okolí vrtu V-2 byla vypočtena hodnota Q2, ... atd. až po předpokládanou hodnotu přítoku Q7 vypočtenou pro okolí vrtu V-7. Výpočet byl proveden pro hloubku dna výkopu 1 m nad bází konkrétního vrtu.

$$Q1 = 8,4 \text{ l/s}$$

$$Q2 = 8,3 \text{ l/s}$$

$$Q3 = 5 \text{ l/s}$$

$$Q4 = 3,2 \text{ l/s}$$

$$Q5 = 5,5 \text{ l/s}$$

$$Q6 = 5,1 \text{ l/s}$$

$$Q7 = 5,7 \text{ l/s}$$

V případě okolí vrtu V-2 a V-5 se nacházel výkop nad úrovní hladiny podzemní vody, a tak výpočty byly stanoveny pro případ hlubšího výkopu anebo možného kolísání hladiny podzemní vody. [12]

### 6.3 Posouzení hydrogeologické situace výjezdového centra Třinec

Odborný posudek hydrogeologické situace vychází z průzkumů firem Drilling Trade, s.r.o, G-CONSULT, s.r.o, EKOHYDRO, s.r.o a dalších vyjádření hydrogeologů k odvodnění. Cílem bylo posouzení stabilitních aspektů a účinnosti odvodňovacího drénu stavby.

#### 6.3.1 Základní údaje

Předmětem bylo posouzení navrženého odvodnění z předcházejících hydrogeologických průzkumů firem v prostorách integrovaného výjezdového centra v Třinci.

Lokalita se nachází ve městě Třinec na ulici Frýdecká. Zájmové území leží východně od průmyslového areálu Třineckých železáren. [16]



Obrázek 26 Zájmové území stavby [18]

#### 6.3.2 Průzkumné práce

Firma Drilling Trade, s.r.o provedla průzkumné vrty s označením SI-1, SI-2 a SI-3. Vrty dosáhly hloubky 4,8 až 6 m od původního terénu. Byly prováděny mobilní vrtnou soupravou typu WIRTH BIA na podvozku Praga V3S, technologií vrtání na jádro průměru 220 mm. Vrtné práce proběhly 20.11.2012. Po ukončení vrtných prací a odebrání vzorku byla provedena likvidace vrtů zpětným dusaným záhozem vrtného jádra. [16]

Firma G-CONSULT, s.r.o. realizovala vrty PV-1, PV-2, PV-3 pro měření hladiny podzemní vody do hloubky 3 m. Vrty byly realizovány vrtnou soupravou MRZB na samohybném pásovém podvozku. Vrtáno bylo jádrově o průměru 95 mm pod ochranou pažnic o průměru 114 mm. Po skončení vrtných prací byly vrty vystrojeny perforovanými pažnicemi průměru 75 mm. Vrtné práce byly provedeny 18.5.2015.

Dále byly provedeny výkopové jámy V-4 a V-5.



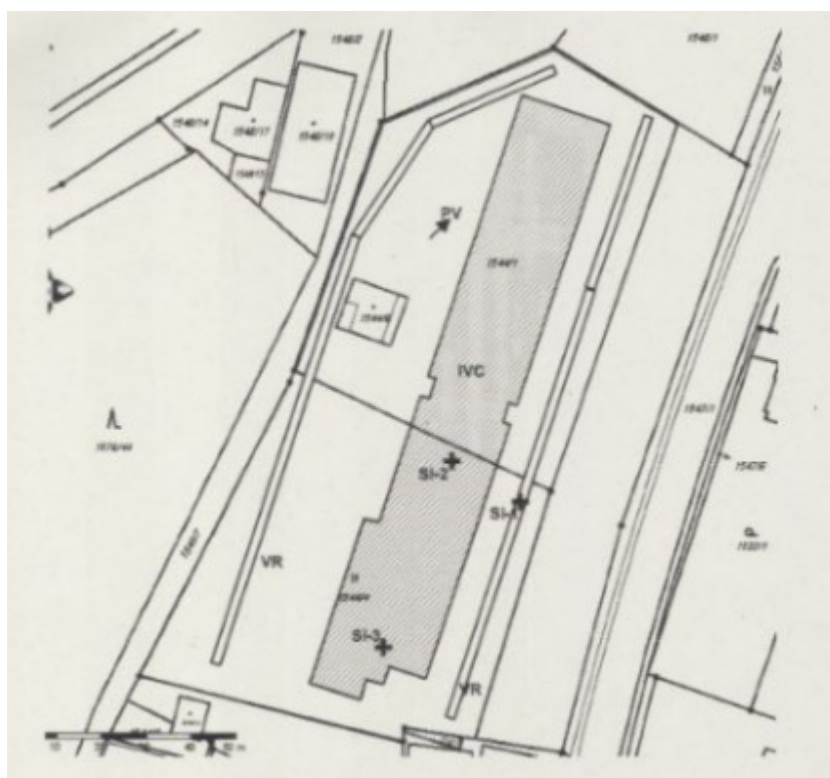
Jako doplňující průzkum provedla firma G-CONSULT, s.r.o. dne 17. a 18.6.2015 další vrty se značením R-1 až R-4 do hloubky 4,5 až 5 m, protože další pokračování vrtných prací znemožnila vrstva s výrazným zastoupením větších horninových valounů. [18]

### 6.3.3 Hydrogeologické vyhodnocení

Hladina podzemní vody se vyskytuje v úrovni do 1-2 m od původního terénu a do hloubky 20-30 m. Dle vývoje stropních jílu a štěrků s jílovitou příměsí je hladina volná až mírně napjatá. [16]

### 6.3.4 Návrh odvodnění

Byly navrženy dvě vsakovací rýhy v celkové délce 300 m a šířce 2 m. Rýhy byly vystlány geotextilií a vysypány drceným kamenivem až do úrovně 0,5 m pod hladinu podzemní vody a dále svedeny do kanalizace a převedeny do retenční nádrže. [16]





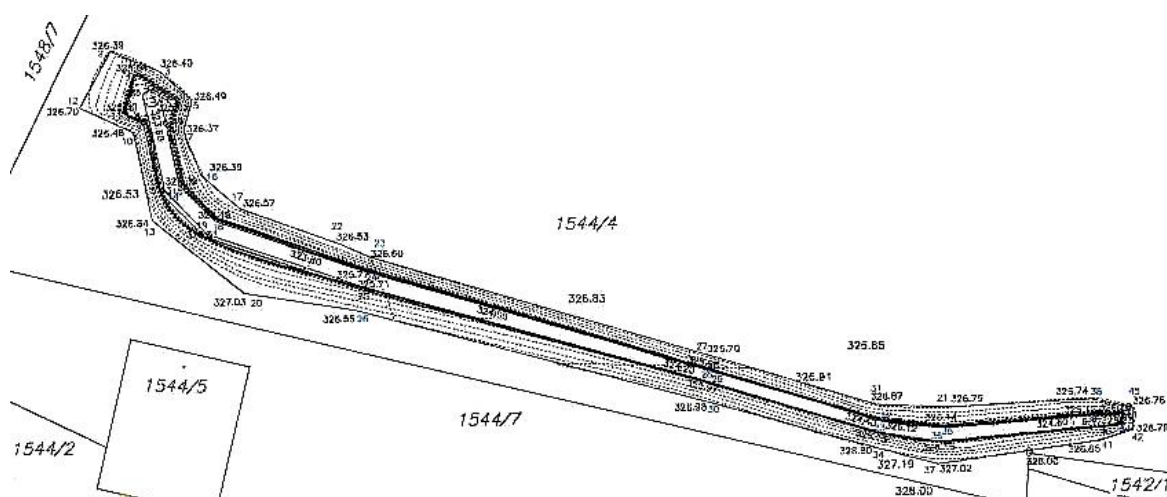
Obrázek 28 Situace průzkumných děl [15]

### 6.3.5 Posouzení hydrogeologické situace

#### Posouzení stupně a účinnosti odvodnění stavby a jejího okolí:

Bylo vyprojektováno celoplošné odvodnění ploch systémem sběrné kanalizace po obou stranách objektu. Voda je projektovanými drény svedená do kanalizace a je převedena do retenční nádrže srážkových vod. Dále byly navrženy 2 rýhy po stranách staveniště vystlané geotextilií a vyplněny drceným kamenivem. Ovšem takto navrhovaný systém by znamenal znehodnocení stávající základové pláně (výkopy). Vznikly by problémy z hlediska ekonomického a stabilitního pro postavený skelet.

Na lokalitě byl vybudován drén s cílem odvedení podzemních vod. Zemní drén je zahlouben 2 až 2,5 m pod terénem. Snížení hladiny bylo projektováno tak, aby vybudované základové patky byly nad hladinou podzemní vody. Bylo provedeno zhodnocení účinnosti drénu a proveden návrh doplňkového monitorování hladiny podzemní vody v celé ploše formou štíhlých vrtů realizovaných ve dnech 17.-18.6.2015. Podzemní voda akumulovaná v šachtici, již je drén ukončen, je odčerpávána do místního povrchového toku Křivec.



Obrázek 29 Schéma drénu [15]

První průzkum sond SI-1 až SI-3 nezaznamenal indicie hydraulické nehomogenity, tato nehomogenita byla zjištěna až na základě průzkumných vrtů PV-1 až PV-3 při akceptaci výsledků průzkumů z výkopových jam V-4 a V-5. Naměřené výsledky hladin podzemních vod ukazovaly že zvodně jsou nespojitě. [15]

#### Posouzení účinnosti gravitačního odvodnění a zabezpečení předpolí stavby v případě extrémních srážek:

Bylo navrženo zhotovit šterkový drén ve šterkopísčitém prostředí se nejevilo jako vhodné řešení, a proto bylo tuto skutečnost nutno přezkoumat. [15]

**Posouzení stávající úrovně hladiny podzemní vody pod patkami stavby na jižní straně objektu, resp. posouzení max. hladiny podzemní vody ve vztahu k ovlivnění patek stavby:**

Hladina podzemní vody byla ve všech případech v době průzkumu pod jejich úrovní. Průzkumné práce firmou G-CONSULT, s.r.o. byly prováděny tak, aby byla ověřena hladina podzemní vody a zároveň mohly být v dalším období využity k monitoringu její změny. [15]

**Posouzení stávajícího délkového rozsahu odvodňovacího drénu:**

Drenážní systém navržený – ve 2 variantách, zahrnuje vybudování kanalizace, do které jsou napojeny odvodňovací drény. Kanalizace a drény byly navrženy po obou stranách stavby, tedy na východě i západě. Drenážní systém bude, avšak funkční pouze za výjimečně vysoké hladiny podzemní vody. [15]

## 7 Závěr

V rámci této bakalářské práce jsou popsány základní analytické vzorce používané při odvodňování, průzkumné metody pro návrh odvodňování, jednotlivé druhy odvodňovacích metod stavebních jam a lomů, jejich součástí, využití a technologické postupy. Dále pak enviromentální dopady na odvodňování a vliv vody na stabilitu stěn výkopů. V praktické části jsou popsány inženýrskogeologické a hydrogeologické průzkumy firem K-Geo, s.r.o. Drilling Trade, s.r.o., EKOHYDRO, s.r.o. G-Consult, s.r.o. a dále inženýrskogeologické a hydrogeologické posudky odborníků.

V prvním příkladu shrnuji výsledky zprávy pro realizování zemních filtrů na čištění odpadních vod z OKD, a.s., VOJ SC, provoz pila Salma. Předmětem byl inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum a následný odhad přítoku vody do stavební jámy.

V druhém příkladu je výpočtem stanoven přítok vody do stavebního výkopu budované kanalizace Ostrava Nová Bělá-Hrabová. Výpočet byl proveden pro oboustranný přítok do výkopu se započtením přítoku ze dna, a to vždy pro délku výkopu 100 m.

V třetím příkladu posouzení hydrogeologické situace výjezdového centra Třinec bylo cílem posouzení stabilitních aspektů a účinnosti odvodňovacího drénu stavby.

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Proudění v ose x s volnou hladinou [3] .....	13
Obrázek 2 Proudění v ose x s napjatou hladinou [3] .....	14
Obrázek 3 Proudění v ose x a y s volnou hladinou [3] .....	15
Obrázek 4 Proudění v ose x a y s napjatou hladinou [3] .....	16
Obrázek 5 Metody odvodnění stavebních jam pro typy zemin podle koeficientu filtrace [3] .....	23
Obrázek 6 Schéma povrchového odvodňování stavební jámy [1] .....	24
Obrázek 7 Postup výkopu a snižování hladiny [3] .....	25
Obrázek 8 Konečný stav aplikovaného povrchového odvodnění [3] .....	25
Obrázek 9 Postup výkopu a snižování hladiny podzemní vody pomocí horizontální drenáže [3] .....	26
Obrázek 10 Půdorysné schéma stavební jámy pro plochy do 400 m <sup>2</sup> [3] .....	26
Obrázek 11 Půdorysné schéma stavební jámy pro plochy větší než 400 m <sup>2</sup> [3] .....	27
Obrázek 12 Řez vrtanou studní [24] .....	28
Obrázek 13 Schéma odvodňovacího systému čerpacími jehlami [3] .....	29
Obrázek 14 a) jednoduchá koncovka b) dvojité koncovky 1. fáze vplachování 2. fáze čerpání [1] .....	30
Obrázek 15 Schéma pro odvodnění vákuovými čerpacími jehlami [1] .....	31
Obrázek 16 Řez jehly a detail koncovky [24] .....	31
Obrázek 17 Schéma odvodnění čerpacími jehlami na principu elektroosmózy [3] .....	32
Obrázek 18 Řez odvodňovacího příkopu s orientačními rozměry .....	35
Obrázek 19 Řez odvodňovacího příkopu a orientační rozměry [3] .....	36
Obrázek 20 Odvodnění vertikálními vrtů [2] .....	37
Obrázek 21 Odvodnění horizontálním bářským dílem [2] .....	37
Obrázek 22 Letecký snímek s orientačním vyznačením zájmové oblasti [13] .....	42
Obrázek 23 Situace průzkumných vrtů [13] .....	43
Obrázek 24 Situace zájmového území [12] .....	44
Obrázek 25 Situace průzkumného vrtu V-1 [12] .....	45
Obrázek 26 Zájmové území stavby [18] .....	48
Obrázek 27 Navržené odvodňovací vsakovací rýhy VR [16] .....	49
Obrázek 28 Situace průzkumných děl [15] .....	50
Obrázek 29 Schéma drénu [15] .....	51

## Seznam použitých pramenů

### Seznam použitých literárních zdrojů

- [1] Turček, Peter a kolektiv. *Zakládání staveb*. Bratislava: Jaga Group, s.r.o., 2005
- [2] Younger, L.Paul, Banwart, A. Steven, Hedin, S.Robert. *Mine Water*, 2002
- [3] Grmela, Arnošt. *Odvodňování dolů, lomů a stavebních jam*. Ostrava, 1995
- [4] Milič, Jiří, Endel, Karel. *Odvodňování dolů a lomů*. Ostrava, 1984
- [5] Gregor, Robert. *Odvodňovanie stavebných jam*. Brno, 1990
- [6] ČSN EN 1997-2. *Navrhování geotechnických konstrukcí-Průzkum a zkoušení základové půdy*. 2008
- [7] ČSN P 73 1005. *Inženýrskogeologický průzkum*. 2016
- [8] Ťavoda, Ondrej, Šabo, Andrej. *Zakladanie stavieb pod hladinou podzemnej vody*. Bratislava, 1986
- [9] Mäsiar, Ernest, Kamenský, Jozef. *Hydraulika pre stavebných inžinierov*. Bratislava, 1989
- [10] Mucha, Igor, Šestakov, Vsevolod. *Hydraulika podzemných vod*. Praha, 1987
- [11] Milič, Jiří. *Odvodňování lomových polí*. Ostrava, 1979
- [12] Dostalík, Radim. *Závěrečná zpráva propojení kanalizace Ostrava Nová Bělá-Hrabová*. Firemní materiály firmy K-Geo, s.r.o., 2005
- [13] Kypúsová, Jana. *Závěrečná zpráva čištění odpadních vod Ostrava, Salma*. Firemní materiály firmy K-Geo, s.r.o, Ostrava, 2014
- [14] Kleinová, Radmila. *Vyjádření hydrogeologa k závěrečné zprávě čištění odpadních vod Ostrava Salma* firmy K-Geo, s.r.o, Ostrava 2015
- [15] Grmela, Arnošt, Kovář, Luděk, Rapantová, Naďa, Slivka, Vladimír. *Posouzení hydrogeologické situace a účinnosti odvodňovacího drénu stavby integrované výjezdové centrum Třinec*. Ostrava, 2015
- [16] Stránský, Radim. *Hydrogeologický posudek výjezdové centrum Třinec*. Firemní materiály firmy Drilling Trade, s.r.o, 2012
- [17] Pospíšil, Martin. *Hydrogeologické posouzení možnosti snížení hladiny podzemní vody výjezdové centrum Třinec*. Firemní materiály firmy EKOHYDRO, s.r.o. Brno, 2015
- [18] Šmít, Radan, *Hydrogeologická zpráva výjezdové centrum Třinec*. Firemní materiály firmy G-Consult, s.r.o Ostrava, 2015
- [19] Machovcová, Vítězslava. *Snížení hladiny spodní vody v areálu výjezdového centra Třinec*, Brno, 2015

## Seznam použitých internetových zdrojů

- [20] *Odvodnění stavební jámy*. Mira z Lidča. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~pin078/ZVSP/cviceni08.pdf>
- [21] *Zásady odvodňování stavebních jam*. Dostupné z: <http://docplayer.cz/3296023-5-zasady-odvodnovani-stavebnich-jam.html>
- [22] *Hydraulické parametry zvodněných systémů*. Dostupné z: <http://departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2008/03/hydro-3.pdf>
- [23] *Geohydronamické systémy*. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/inzgeol/sylaby/08%20Hydrogeologicke%20pomery/Geohydrodynamick%C3%A9%20syst%C3%A9my.htm>
- [24] *Výkopy s úrovní dna pod hladinou podzemní vody*. Dostupné z: <http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/textjama6.html>
- [25] *Hydraulická vodivost*. Dostupné z: <https://ceg.fsv.cvut.cz/vyuka/podklady-pro-studenty/definice-parametru/propustnost>